

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ
ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ҚАЗАҚСТАН ӨНДІРІС КӨЛІГІ

**ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ
КАЗАХСТАНА**

**INDUSTRIAL TRANSPORT
OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
КӨЛІКТІК-
ГУМАНИТАРЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІ**



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ТРАНСПОРТНО-
ГУМАНИТАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**2025 №4(88)
октябрь-декабрь**

РЕДАКЦИЯЛЫҚ КЕҢЕС:

БАС РЕДАКТОР:

Омаров Амангельды Джумағалиевич — (Халықаралық көліктік-гуманитарлық университетінің Президенті, т.ғ.д., проф., халықаралық көлік және ақпараттандыру академияларының толық мүшесі)

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

Турдалиев Аuezхан Турдалиевич — (т.ғ.д., проф., Машина жасау, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Қазақстан, Алматы, Scopus Autor ID:56466038000, Scopus h-индекс - 2)

Майлыбаев Ерсайын Курманбаевич — (PhD, Автоматтандыру және басқару, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Қазақстан, Алматы, Scopus Autor ID:57190165227, Scopus h-индекс - 2)

Амиргалиев Едилхан Несипханович — (т.ғ.д., проф., Автоматтандыру және басқару, ҚР БҒМ ҰҚ Қазақстан Республикасының Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Scopus Autor ID:56167524400, Scopus h-индекс - 14)

Ахметов Бахытжан Сражатдинович — (т.ғ.д., проф., Әлеуметтік экономикалық жүйелерде басқару, Абай ат. Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Қазақстан, Алматы, Scopus Autor ID:56910050000, Scopus h-индекс - 8)

Ахметов Данияр Ақбулатович — (т.ғ.д., проф., Құрылыс бұйымдары мен конструкцияларын өндіру, Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Қазақстан, Алматы, Scopus Autor ID:57224279309, Scopus h-индекс - 5)

Войцик Вальдемар — (т.ғ.д., проф., Люблин политехникалық университеті, Польша, Scopus Autor ID:7005121594, Scopus h-индекс - 25)

Лахно Валерий Анатольевич — (т.ғ.д., проф., Ақпаратты қорғау жүйесі, Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Украина, Scopus Autor ID:57680586200, Scopus h-индекс - 13)

Оралбекова Аяулым Оралбековна — (PhD, Ақпараттандыру және басқару, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Қазақстан, Алматы Scopus Autor ID:57210248989, Scopus h-индекс - 3)

Жұман Жаппар — (э.ғ.д., проф., Экономика, әл-Фараби ат. ҚазҰУ, Қазақстан, Алматы Scopus Autor ID:56658765400, Scopus h-индекс - 7)

Козбакова Айнуր Холдасовна — (PhD, Ақпараттық жүйе, әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы, Scopus Autor ID:57195683902, Scopus h-индекс - 8)

Фуад Мохамед Хасан Хошнав — (PhD, Машина жасау, Де Монтфорт университеті, Ұлыбритания, Лестер, Scopus Autor ID:14008036500, Scopus h-индекс - 8)

Миркин Евгений Леонидович — (т.ғ.д., проф., Ақпаратты өңдеу және басқару, Қырғызстан халықаралық университеті, Қырғызстан, Бішкек, Scopus Autor ID:15623452500, Scopus h-индекс - 5)

«Қазақстан өндіріс көлігі» журналы

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

Меншік иесі: Халықаралық көлік-гуманитарлық университеті (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінде тіркелген. Тіркеу туралы куәлік № KZ27VPY00074524, 28.07.2023 ж. берілген.

Тақырып бағыты: Есептеу техникасы, ақпараттық жүйелер, электр энергетикасы және көлікті автоматтандыру.

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Тираж: 500 дана.

Редакция мекенжайы: Қазақстан, Алматы қ., Жетісу-1 ықшам ауданы, 32а үй.

Кон. Тел.: 8 (727) 376-74-78.

E-mail: info@mtgu.edu.kz

Журнал сайты: <https://prom.mtgu.edu.kz>

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Омаров Амангельды Джумагалиевич — (Президент Международного транспортно-гуманитарного университета, д.т.н. профессор, действительный член международных академий транспорта и информатизации)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Турдалиев Ауезхан Турдалиевич — (д.т.н., проф., Машиностроение, Международный транспортно-гуманитарный университет, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:56466038000, Scopus h-индекс - 2)

Майлыбаев Ерсайын Курманбаевич — (PhD, Автоматизация и управление, Международный транспортно-гуманитарный университет, Казахстан, Алматы Scopus Autor ID:57190165227, Scopus h-индекс - 2)

Амиргалиев Едилхан Несипханович — (д.т.н., проф., Автоматизация и управление, Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:56167524400, Scopus h-индекс - 14)

Ахметов Бахытжан Сражатдинович — (д.т.н., проф., управление в социальных и экономических системах, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:56910050000, Scopus h-индекс - 8)

Ахметов Данияр Акбулатович — (д.т.н., проф., производство строительных изделий и конструкций, Казахский национальный исследовательский технический университет, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:57224279309, Scopus h-индекс - 5)

Войцик Вальдемар — (д.т.н., профессор Люблинского политехнического университета, Польша, Scopus Autor ID:7005121594, Scopus h-индекс - 25)

Лакно Валерий Анатольевич — (д.т.н., проф., системы защиты информации, Национальный университет биоресурсов и природопользования, Украина, Scopus Autor ID:57680586200, Scopus h-индекс - 13)

Оралбекова Аяулым Оралбековна — (PhD, Автоматизация и управление, Международный транспортно-гуманитарный университет, Казахстан, Алматы Scopus Autor ID:57210248989, Scopus h-индекс - 3)

Жуман Жаппар — (д.э.н., проф., КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:56658765400, Scopus h-индекс - 7)

Козбакова Айнур Холдасовна — (PhD, Информационные системы, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы, Scopus Autor ID:57195683902, Scopus h-индекс - 8)

Фуад Мохамед Хасан Хошнав — (PhD, машиностроение, Университет Де Монтфорт, Великобритания, Лестер, Scopus Autor ID:14008036500, Scopus h-индекс - 8)

Миркин Евгений Леонидович — (д.т.н., проф., управление и обработка информации, Международный университет Кыргызстана, Кыргызстан, Бишкек, Scopus Autor ID:15623452500, Scopus h-индекс - 5)

Журнал «Промышленный транспорт Казахстана»

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

Собственник: Международный транспортно-гуманитарный университет (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ27VPY00074524, выданное от 28.07.2023 г.

Тематическая направленность: вычислительная техника, информационные системы, электроэнергетика и автоматизация транспорта.

Периодичность: 4 раза в год.

Тираж: 500 экземпляров.

Адрес редакции: г. Алматы, мкрн. Жетысу-1, д. 32а. Кон. Тел.: 8(727) 376-74-78

E-mail: info@mtgu.edu.kz

Сайт журнала: <http://prom.mtgu.edu.kz>

EDITOR-IN-CHIEF:

Omarov Amangeldy Dzhumagalievich — (President of the International Transport and Humanities University, Doctor of Technical Sciences, Professor, full member of the international academies of transport and information)

EDITORIAL BOARD:

Turdaliev Auyezkhan Turdalievich — (Doctor of Technical Sciences, Professor, Mechanical Engineering, International Transport and Humanitarian University, Kazakhstan, Almaty, Scopus Autor ID:56466038000, Scopus h-index - 2)

Mailybaev Ersayyn Kurmanbaevich — (PhD, Automation and Management, International Transport and Humanitarian University, Kazakhstan, Almaty Scopus Autor ID:57190165227, Scopus h-index - 2)

Amirgaliev Edilkhan Nesipkhanovich — (Doctor of Technical Sciences, Professor, Automation and Control, Institute of Information and Computing Technologies, KN MES RK, Kazakhstan, Almaty, Scopus Autor ID:56167524400, Scopus h-index - 14)

Akhmetov Bakhytzhon Batdinovich — (Doctor of Technical Sciences, Professor, Management in social and economic systems, Abai Kazakh National Pedagogical University, Kazakhstan, Almaty, Scopus Autor ID:56910050000, Scopus h-index - 8)

Akhmetov Daniyar Akbulatovich — (Doctor of Technical Sciences, Professor, manufacture of building products and structures, Kazakh National Research Technical University, Kazakhstan, Almaty, Scopus Autor ID:57224279309, Scopus h-index - 5)

Wojcik Waldemar — (Doctor of Technical Sciences, Professor at Lublin Polytechnic University, Poland, Scopus Autor ID:7005121594, Scopus h-index - 25)

Valery A. Lakhno — (Doctor of Technical Sciences, Professor, Information Security Systems, National University of Bioresources and Environmental Management, Ukraine, Scopus Autor ID:57680586200, Scopus h-index - 13)

Oralbekova Ayaulym Oralbekovna — (PhD, Automation and Management, International Transport and Humanitarian University, Kazakhstan, Almaty Scopus Autor ID:57210248989, Scopus h-index - 3)

Zhuman Zhappar — (Doctor of Economics, Prof., KazNU named after. al-Farabi, Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan, Almaty Scopus Autor ID:56658765400, Scopus h-index - 7)

Kozbakova Ainur Holdasovna — (PhD, Information Systems, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty, Scopus Autor ID:57195683902, Scopus h-index - 8)

Fouad Mohamed Hassan Khoshnav — (PhD, Mechanical Engineering, De Montfort University, UK, Leicester, Scopus Autor ID:14008036500, Scopus h-index - 8)

Mirkin Evgeny Leonidovich — (Doctor of Technical Sciences, Professor, Information Management and Processing, International University of Kyrgyzstan, Kyrgyzstan, Bishkek, Scopus Autor ID:15623452500, Scopus h-index - 5)

Industrial Transport of Kazakhstan

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

Owner: International university of transportation and humanities (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan, Information Committee KZ27VPY00074524, issued July 28, 2023.

Thematic focus: computer engineering, information systems, electrical power engineering, and transport automation.

Periodicity: 4 times a year.

Circulation: 500 copies.

Editorial address: Kazakhstan, Almaty, microdistrict Zhetysu-1, building 32a. Tel.: 8 (727) 376-74-78

E-mail: info@mtgu.edu.kz

Journal website: <http://prom.mtgu.edu.kz>

МАЗМҰНЫ

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖӘНЕ КӨЛІКТІ АВТОМАТТАНДЫРУ

И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӘУЕ ТАСЫМАЛЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН ТРАНЗИТТІК МҮМКІНДІКТЕРІ	7
Г. Еркелдесова, В. Лахно ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІ ДИСПЕТЧЕРІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІНДЕ ДЕРЕКТЕРДІ ҚАТАР ӨНДЕУ	18
Н. Камзанов ӨЗГЕРЕТІН ЖОЛ ЖАБЫНДАРЫН ЖӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН АВТОМАТТЫ ЖОЛ КЕСКІШ	33
В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева ЖЕРДЕГІ КӨЛІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫҢ ТРАНСМИССИЯЛЫҚ МАЙЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ ҚАСИЕТТЕРІН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРМЕН ЖАҚСARTУ	45

ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

А.А. Алтынбеков, Г. Алин ҚАУІПСІЗДІК ТУРАЛЫ АҚПАРАТ ПЕН ОҚИҒАЛАРДЫ БАСҚАРУДАҒЫ АУЫТҚУЛАРДЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ГИБРИДТІ ТӘСІЛІ	56
А. Богданюк ТҰРАҚТЫ (ЖАСЫЛ) ЛОГИСТИКАДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ҚОЛДАНУ	69
В. Лахно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов ЖОБАЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІН РЕСІМДЕУГЕ ЖӘНЕ ТЕМІРЖОЛ ВОКЗАЛДАРЫН ДАМУ ТУДА АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН МОДЕЛЬДЕР МЕН АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР	81
Л.Сорокина, А. Мязова ВИРТУАЛДЫ ШЫНДЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ЖЫЛЖЫМАЙТЫН МҮЛІКТІ САТУ	103

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА

И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРАНЗИТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВИАПЕРЕВОЗОК КАЗАХСТАНА	7
Г. Еркелдесова, В. Лахно ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ДИСПЕТЧЕРА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	18
Н. Камзанов АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДОРОЖНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ КОЛЕЙНОСТЬЮ	33
В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	45

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

А.А. Алтынбеков, Г. Алин ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К МАШИННОМУ ОБУЧЕНИЮ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ СОБЫТИЯМИ	56
А. Богданюк ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ (ЗЕЛЁНОЙ) ЛОГИСТИКИ	69
В. Лахно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ	81
Л. Сорокина, А. Мязова ПРОДАЖА НЕДВИЖИМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ	103

CONTENTS

ELECTRICAL POWER ENGINEERING AND TRANSPORT AUTOMATION

I. Asilbekova, G. Muratbekova, Z. Konakbai, L. Malikova THE CURRENT STATE AND TRANSIT OPPORTUNITIES OF AIR TRANSPORTATION IN KAZAKHSTAN	7
G. Yerkeldessova, V. Lahno PARALLEL DATA PROCESSING IN AUTOMATED RAILWAY TRANSPORT DISPATCHING SYSTEM	18
N. Kamzanov AUTOMATED ROAD CUTTER FOR REPAIRING VARIABLE ROAD SURFACES	33
V. Perevertov, G. Afanasyev, M. Abulkasimov, M. Akaeva IMPROVING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS BY ELECTROPHYSICAL METHODS	45

COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

A.A. Altynbekov, G. Alin A HYBRID MACHINE LEARNING APPROACH FOR ANOMALY DETECTION IN SECURITY INFORMATION AND EVENT MANAGEMENT	56
A. Bogdanuk APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SUSTAINABLE (GREEN) LOGISTICS	69
V. Lakhno, D. Zhamangarin, G. Muratbekova, A. Tabylov MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR FORMALIZATION OF DESIGN PROBLEMS AND RAILWAY STATIONS DEVELOPMENT AUTOMATION	81
L. Sorokina, A. Myazova SALE OF REAL ESTATE USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES	103

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖӘНЕ КӨЛІКТІ
АВТОМАТТАНДЫРУ / ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА/ ELECTRICAL POWER
ENGINEERING AND TRANSPORT AUTOMATION**

Industrial Transport of Kazakhstan

ISSN 1814-5787 (print)

ISSN 3006-0273 (online)

Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 7–17

Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>

<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.001>

УДК 334.7

**THE CURRENT STATE AND TRANSIT OPPORTUNITIES OF AIR
TRANSPORTATION IN KAZAKHSTAN**

*I. Asilbekova**, *G. Muratbekova*, *Z. Konakbai*, *L. Malikova*

Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.indira71@mail.ru

Indira Asilbekova — c.t.s., Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.indira71@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8988-9910>;

Gulzhan Muratbekova — c.t.s., Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

E-mail: g.muratbekova@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>;

Zarina Konakbai — c.t.s., Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

E-mail: z.konakbai@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4370-9397>;

Larisa Malikova — c.t.s., Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

E-mail: larisa.malikova.73@mail.ru, <https://orcid.org/009-0002-4226-6627>.

© I. Asilbekova, G. Muratbekova, Z. Konakbai, L. Malikova

Abstract. The research topic focuses on the development of Kazakhstan's aviation transit potential, enhancing the efficiency of air cargo and passenger transportation, as well as studying regional and international cooperation mechanisms. Currently, Kazakhstan strengthens its position as a transit hub, occupying a significant role in international air transport. This study examines the development of aviation infrastructure, logistics hubs, the “open sky” policy, passenger and cargo transportation statistics, and optimization of transportation processes through the use of information technologies. The purpose of the study is a comprehensive analysis of Kazakhstan's aviation transit potential and identification of ways to increase its logistical efficiency. To achieve this goal, the following objectives were set: studying passenger and cargo transport statistics, comparing international practices, evaluating the efficiency of transit infrastructure, and optimizing processes using information technologies. The research results indicate that in recent years, the number of air passengers and cargo turnover has steadily increased. Several major airports in Kazakhstan operate under the “open sky” regime, transit routes are expanding, and innovative postal and multimodal hubs are being established. The implementation of information technologies has allowed optimization of logistics processes and reduction of costs. Moreover, Kazakh airlines operate international flights without restrictions, enhancing the country's reputation as a transit hub. In conclusion, the study identified strategic directions, innovative solutions, and opportunities for international cooperation to strengthen Kazakhstan's aviation transit potential. The results provide a practical contribution to the formation of aviation policy, improving logistical efficiency, and enhancing the quality of transit services.

Keywords: aviation, transit, logistics, passenger transport, cargo transport, hub, infrastructure

For citation: I. Asilbekova, G. Muratbekova, Z. Konakbai, L. Malikova. The current state and transit opportunities of air transportation in Kazakhstan // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 7–17. (In Kaz.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.001>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ӘУЕ ТАСЫМАЛЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ МЕН ТРАНЗИТТІК МҮМКІНДІКТЕРІ

И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова*

Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан.

E-mail: a.indira71@mail.ru

Индира Асильбекова — т.ғ.к., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: a.indira71@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8988-9910>;

Гульжан Муратбекова — т.ғ.к., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: g.muratbekova@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>;

Зарина Қонакбай — т.ғ.к., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: z.konakbai@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4370-9397>;

Лариса Маликова — т.ғ.к., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан
E-mail: larisa.malikova.73@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4226-6627>.

© И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова

Аннотация. Зерттеу тақырыбы – Қазақстанның авиациялық транзиттік әлеуетін дамыту, әуе жүк және жолаушылар тасымалының тиімділігін арттыру, сондай-ақ өңірлік және халықаралық ынтымақтастық механизмдерін зерттеу болып табылады. Ағымдағы кезеңде Қазақстан транзиттік хаб ретінде өз рөлін нығайтып, халықаралық әуе қатынасында маңызды орынға ие болды. Осы зерттеу авиациялық инфрақұрылымның дамуы, логистикалық хабтар, «ашық аспан» саясаты, жолаушылар мен жүк тасымалының статистикалық көрсеткіштері және ақпараттық технологияларды енгізу арқылы тасымалдау процесін оңтайландыру мәселелерін қарастырады. Зерттеудің негізгі мақсаты – Қазақстанның авиациялық транзиттік әлеуетін жан-жақты талдау және логистикалық тиімділігін арттыру жолдарын анықтау. Бұл мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: әуе жолаушылары мен жүк тасымалының статистикасын зерттеу, халықаралық тәжірибені салыстыру, транзиттік инфрақұрылымның тиімділігін бағалау, ақпараттық технологияларды қолдану арқылы процестерді оңтайландыру. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, соңғы жылдары әуе жолаушыларының саны мен әуе жүк айналымы тұрақты өсімде. Қазақстанның бірнеше ірі әуежайлары «ашық аспан» режимінде жұмыс істейді, транзиттік маршруттар кеңейтілуде, инновациялық пошта және мультимодальдық хабтар құрылуда. Ақпараттық технологияларды енгізу логистикалық процестерді оңтайландырып, шығындарды азайтуға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, Қазақстандық авиакомпаниялар халықаралық бағыттарда шектеусіз рейстер жүзеге асырады, бұл елдің транзиттік хаб ретіндегі беделін күшейтеді. Қорытындылай келе, зерттеу Қазақстанның авиациялық транзиттік әлеуетін арттыруда стратегиялық бағыттарды, инновациялық шешімдерді және халықаралық ынтымақтастық мүмкіндіктерін анықтады. Алынған нәтижелер авиациялық саясатты қалыптастыруға, логистикалық тиімділікті арттыруға және транзиттік қызметтердің сапасын жақсартуға практикалық үлес қосады.

Түйін сөздер: авиация, транзит, логистика, жолаушылар тасымалы, жүк тасымалы, хаб, инфрақұрылым

Дәйексөз үшін: И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова: Қазақстанның әуе тасымалының қазіргі жағдайы мен транзиттік мүмкіндіктері // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 7–17 бет. (Қаз. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.001>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРАНЗИТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВИАПЕРЕВОЗОК КАЗАХСТАНА

И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова*

Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан.

E-mail: a.indira71@mail.ru

Индира Асильбекова — к.т.н., Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан
E-mail: a.indira71@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8988-9910>;

Гульжан Муратбекова — к.т.н., Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан
E-mail: g.muratbekova@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>;

Зарина Қонакбай — к.т.н., Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан
E-mail: z.konakbai@agakaz.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4370-9397>;

Лариса Маликова — к.т.н., Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан
E-mail: larisa.malikova.73@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4226-6627>.

© И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова

Аннотация. Предмет исследования – развитие авиационного транзитного потенциала Казахстана, повышение эффективности воздушных грузовых и пассажирских перевозок, а также изучение механизмов регионального и международного сотрудничества. В настоящее время Казахстан укрепляет свои позиции как транзитный хаб, занимая важное место в международных воздушных перевозках. Данное исследование рассматривает вопросы развития авиационной инфраструктуры, логистических хабов, политики «открытого неба», статистики пассажирских и грузовых перевозок, а также оптимизации процессов транспортировки с использованием информационных технологий. Цель исследования – комплексный анализ авиационного транзитного потенциала Казахстана и определение путей повышения его логистической эффективности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучение статистики пассажирских и грузовых перевозок, сравнение с международным опытом, оценка эффективности транзитной инфраструктуры, оптимизация процессов с использованием информационных технологий. Результаты исследования показали, что в последние годы количество авиапассажиров и объем грузоперевозок демонстрируют стабильный рост. Несколько крупных аэропортов Казахстана работают в режиме «открытого неба», расширяются транзитные маршруты, создаются инновационные почтовые и мультимодальные хабы. Внедрение информационных технологий позволило оптимизировать логистические процессы и снизить затраты. Кроме того, казахстанские авиакомпании выполняют рейсы по международным направлениям без ограничений, что повышает престиж страны как транзитного хаба. В заключение, исследование выявило стратегические направления, инновационные решения и возможности международного сотрудничества для повышения авиационного транзитного потенциала Казахстана. Полученные результаты вносят практический вклад в формирование авиационной политики, повышение логистической эффективности и качества транзитных услуг.

Ключевые слова: авиация, транзит, логистика, пассажирские перевозки, грузовые перевозки, хаб, инфраструктура

Для цитирования: И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Конакбай, Л. Маликова. Современное состояние и транзитные возможности авиaperевозок Казахстана // Помышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 7–17. (На каз.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.001>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе.

Транзиттік әуе тасымалы Қазақстанның көлік жүйесін дамытуда маңызды рөл атқарады, елді Еуразияның ірі экономикасымен байланыстырады және өңірлер арасындағы тиімді қатынасты қамтамасыз етеді (Шегирбаев, 2025:1–5). Бұл ретте транзиттің екі түрі айқын бөлінеді: бірінші жағдайда (қосылатын рейс) жолаушы барлық маршрутқа, соның ішінде трансферге, бір билет алады, ал багаж бен отырғызу талондары барлық сегменттерге бірден рәсімделеді. Мұндай тәсіл арқылы қайта тіркелудің қажеті болмайды және межелі жерге уақытында жету қамтамасыз етіледі (Вайт Тревел, 2023:1–5). Екінші жағдайда (жеке рейстер) билеттер әртүрлі тасымалдаушылардан сатып алынады, бұл кешігулер мен өтемақы алу мүмкіндігінің болмауы сияқты тәуекелдерді арттырады АСД Центр, 2025:1–5).

Тақырыпты таңдауға негіз — Қазақстанның транзиттік әлеуетінің зерттелуі жеткіліксіздігі, елде авиациялық инфрақұрылым қарқынды дамып келе жатқанына қарамастан. Қазіргі уақытта елде 21 әуежай жұмыс істейді, соның ішінде Алматы мен Астанадағы халықаралық хабтар, бұл транзиттік жолаушылар мен жүк ағынын арттыруға мүмкіндік береді (Ишекенова, 2023:1–5; Tourcode.kz, 2023:1–5). Дегенмен, ішкі және халықаралық рейстерді интеграциялау, соның ішінде жүк тасымалы мен жолаушылар қауіпсіздігі мәселелері жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Тақырыптың өзектілігі Қазақстанның стратегиялық орналасуымен, транзиттік хаб ретіндегі әлеуетімен анықталады, ол Еуропа мен Азия елдерін байланыстыра алады, сондай-ақ COVID-19 пандемиясынан кейін авиациялық қызметке сұраныстың артуымен байланысты. 2023 жылы Қазақстандық авиакомпаниялар 7,3 млн адамды тасымалдады, бұл 2022 жылға қарағанда 26,1 % көп (Мир финансов, 2023:1–7). Сол уақытта Қазақстанның әуе кеңістігі арқылы транзиттік рейстер 55,2 % өсіп, транзиттік секторды зерттеудің қажеттілігін дәлелдеді (Anno Danini Limited, 2025:1–7).

Зерттеу объектісі – Қазақстан Республикасындағы әуе тасымалы, ал зерттеу пәні – транзиттік жолаушылар және жүк тасымалы, олардың ұйымдастырылуы мен тиімділігі. Зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы транзиттік авиациялық ағындардың қазіргі жағдайын кешенді бағалау және даму әлеуетін анықтау. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- елдегі авиациялық инфрақұрылымның қазіргі жағдайын талдау;
- жолаушылар мен жүк тасымалының динамикасын зерттеу;
- транзиттік рейстерді ұйымдастырудағы негізгі мәселелер мен тәуекелдерді анықтау;
- транзиттік әлеуетті арттыру бойынша ұсыныстар жасау.

Зерттеу әдістеріне статистикалық деректерді жүйелі талдау, халықаралық тәжірибені салыстырмалы зерттеу және нормативтік-құқықтық базаны шолу кіреді. Кешенді тәсілді қолдану Қазақстандағы транзиттік авиацияның дамуының негізгі факторларын анықтауға және жолаушылар мен жүк тасымалы процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Материалдар мен тәсілдер.

1992 жылы Қазақстан Халықаралық Азаматтық авиация туралы Чикаго Конвенциясына қосылып, БҰҰ-ның мамандандырылған мекемесі – Халықаралық Азаматтық авиация ұйымының (ИКАО) стандарттары мен ұсынымдарын мүлтіксіз орындау бойынша міндеттеме алды (Портал "Открытые НПА", 2022:7–10). ИКАО-мен өзара іс-қимыл шеңберінде ұшу қауіпсіздігі және авиациялық қауіпсіздік саласында аудиттер мен

валидациялық миссиялар жүргізу арқылы ИКАО-ға мүше мемлекеттердің авиациялық қызметіне тұрақты мониторинг жүзеге асырылуда (Ануquestion, 2025).

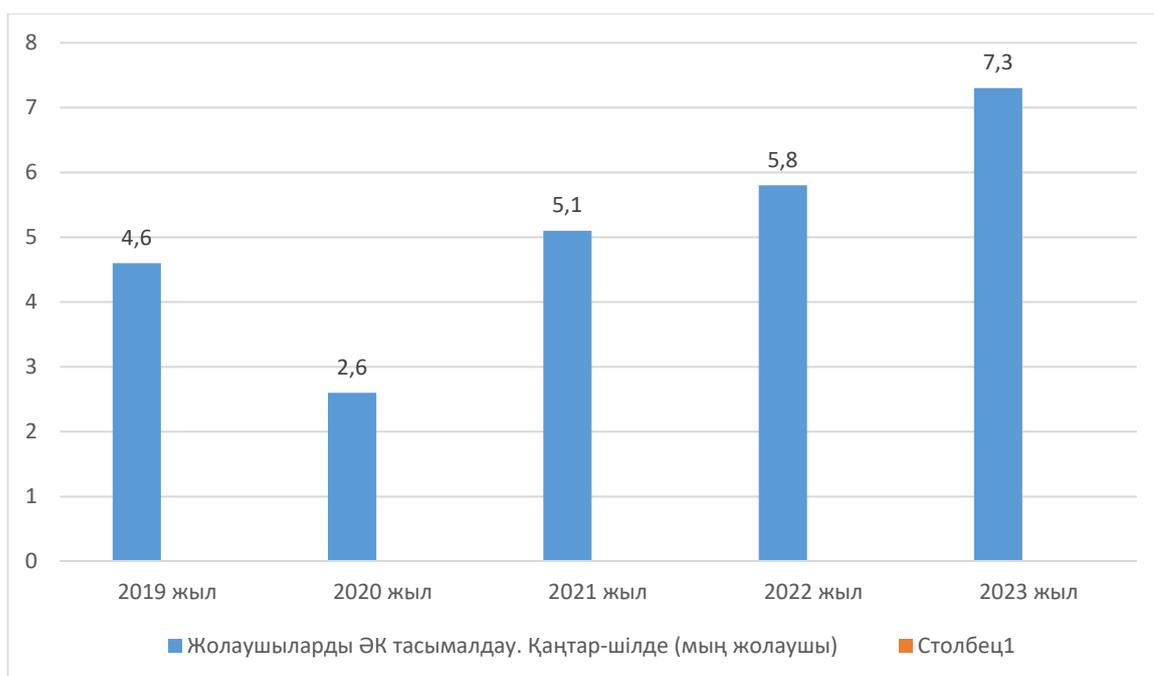
Тәуелсіздік жылдары ұшу қауіпсіздігі және авиациялық қауіпсіздік бойынша көрсеткіштер дамыған елдер деңгейіне дейін көтерілді. 2017 жылы авиациялық қауіпсіздік бойынша ИКАО аудиті жүргізілді, оның нәтижелері бойынша Қазақстандағы ИКАО талаптарына сәйкестік деңгейі ресми түрде 83% құрады (Шегирбаев, 2025:1–5).

2021 жылы ИКАО Үйлестірілген валидациялық миссиясы (ICVM) шеңберінде Қазақстан ұшу қауіпсіздігін қамтамасыз ету деңгейін 74 % - дан 84 % - ға дейін көтерді, бұл әлемдік орташа көрсеткіштен 15% - ға жоғары. Қазақстандық авиакомпанияларда Еуропа елдеріне авиарейстерді жүзеге асыру кезінде қандай да бір шектеулер жоқ. Ұшулар екі елдің уәкілетті органдары арасындағы қолданыстағы уағдаластықтар шеңберінде жүзеге асырылады (Шегирбаев, 2025:1–5).

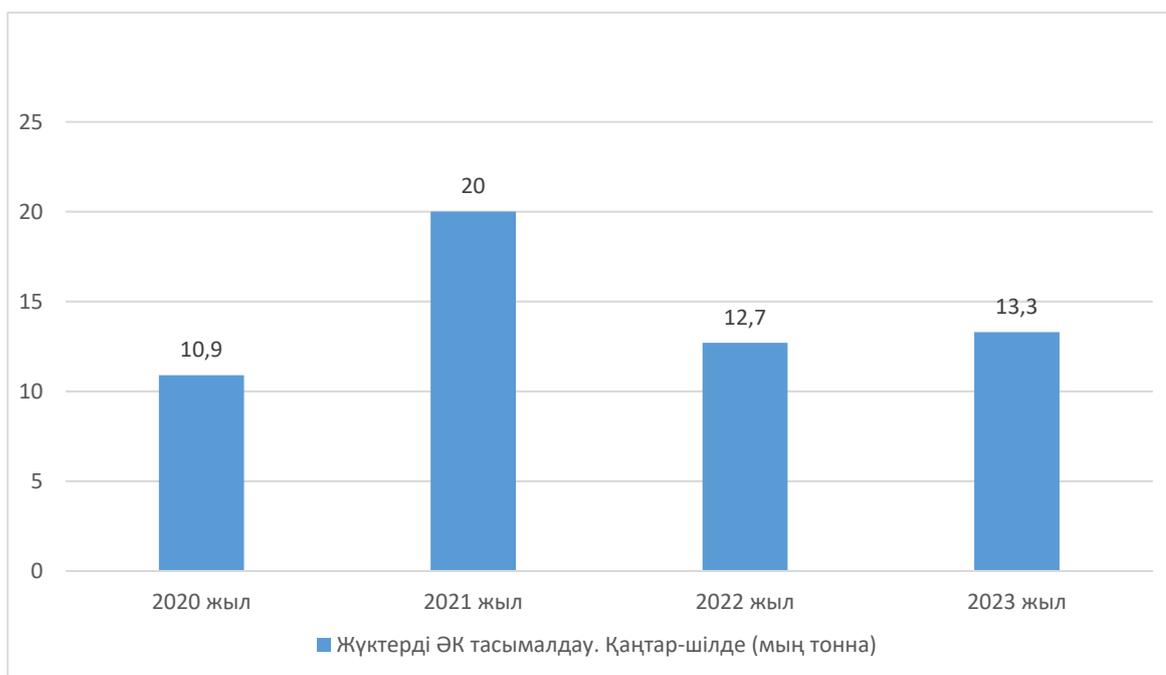
2021 жылдан бастап авиация саласында пандемия зардаптарын қалпына келтірудің тұрақты үрдісі байқалды. Егер Қазақстандық авиакомпаниялармен тасымалданған жолаушылар саны 2019 жылы 10% өсімді, яғни 4,6 млн жолаушыны құраған болса, 2020 жылдың қорытындысы бойынша 2,6 млн жолаушы тасымалданған. 2021 жылы бұл көрсеткіш өсіп, 5,1 млн жолаушыны құрады. Сонымен қатар, 2021 жылдың қорытындысы бойынша транзиттік әуе жолаушыларының көрсеткіші 125 мың жолаушыны құрады (Мир финансов, 2023:1–7).

Ал 2022 жылы әуе көлігімен тасымалданған жолаушылардың саны 5,8 млн жолаушыны құрады. Осы жылдың, яғни 2023 жылдың қаңтар–шілде айларының қорытындысы бойынша авиакомпаниялар 7,3 млн адамды тасымалдады, бұл 2022 жылмен салыстырғанда 26,1% - ға артық (Мир финансов, 2023:1–7).

Қазақстанның әуе көлігімен жолаушыларды тасымалдау айналымы 2023 жылы 14,5 млрд пкм құрады, бұл 2022 жылдың көрсеткішімен салыстырғанда 41,5% - ға артық. Ағымдағы жылдың қаңтар–шілдесінің қорытындысы бойынша жүк пен багажды әуе көлігімен тасымалдау 13,3 мың тоннаны құрады, бұл өткен жылмен салыстырғанда 4,2% - ға артық. Қазақстанның әуе көлігімен жүк айналымы қаңтар–шілде айларында 28,9 млн ткм құрады, бұл өткен жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда 1,3% - ға артық (Вайт Тревел, 2023:1–3) (1-2 сурет).



1 сур. Жолаушыларды ӘК тасымалдау. Қаңтар–шілде



2 сур. Жүктерді ӘК тасымалдау. Қаңтар-шілде

Жолаушылар тасымалын дамыту трендтерін талдауды ескере отырып, 2030 жылға қарай жолаушылар ағынының жылына 14,5 млн. жолаушыға дейін ұлғаюы күтілуде. Алайда, күрделі геосаяси жағдайды, сондай-ақ эпидемиологиялық себептерге байланысты шектеулерді ескере отырып, бұл үрдіс өзгеруі мүмкін.

2023 жылғы көрсеткіштерге сүйенетін болсақ, Қазақстан әуе кемелерінің (ӘК) 55 пайдаланушысы қызметін жүзеге асыруда. Ал тұрақты коммерциялық тасымалдауды 5 авиакомпания орындайды, олар: Эйр Астана, Fly Arystan, SCAT, Qazaq Air, Оңтүстік аспан, Жетісу (Ишекенова, 2023:1–3).

Қазақстанның 13 әуежайында "ашық аспан" режимі, оның ішінде бесінші дәрежелі еркіндік енгізілді. Бұл Қазақстанның транзиттік мүмкіндіктерін арттыруға және отандық әуежайлар арқылы транзиттік жолаушылар ағынын арттыруға мүмкіндік береді. Ағымдағы жылы 4 елге 8 маршрут бойынша рейстер жаңартылып, ашылды (Амалбаев, 2025:1–3).

Қазақстанның хабтары Астана, Алматы, Шымкент және Ақтөбе әуе айлақтары болады. Қазіргі уақытта қалалардың әрқайсысында әуежайларды жаңғырту бойынша ірі жобалар іске асырылуда. Оның ішінде Астанада БАӘ-нің Terminal Holding компаниясымен елордалық әуе айлағын дамыту бойынша жұмыстар белсенді жүргізілуде. Ұшу-қону жолағын қайта жаңарту, жолаушылар терминалын ағыны 14 млн адамға дейін (қазір 8,5 млн) ұлғайта отырып кеңейту, жүк терминалын ұлғайту және жаһандық логистикалық операторлармен ынтымақтастық жоспарлануда. Сондай-ақ, жанармай құю кешені қайта жаңартылады, duty free-ге әлемдік брендтер тартылады, автотұрақ кеңейтіледі және т.б. инвестициялар сомасы әлі де айқындалады.

Алматыда Түрік TAV Airports Holding 2025 жылы жүк терминалы алдында перронды жаңғыртуды және әуежайда жүктерді өңдеуді жеделдету үшін процестерді толық автоматтандыруды жоспарлап отыр. Сондай-ақ, қазіргі уақытта холдинг 2024 жылдың жазына жоспарланған жаңа жолаушылар терминалын салып жатыр.

Шымкентте SCAT әуекомпаниясы аумақты 3,8 мыңнан 35 мың шаршы метрге дейін кеңейтуге мүмкіндік беретін жаңа терминал салуды жалғастыруда.

Қазіргі уақытта Ақтөбеде бірнеше жоба жүзеге асырылуда. Оның ішінде 2023–2024 жылдары ауданы 3,2 га "Қазпошта" инновациялық пошта хабын салу жоспарланып отыр.

Әлемдік экономиканы дамытудың қазіргі жағдайында тауарлардың халықаралық саудасының үздіксіз жұмыс істеуін қамтамасыз ету, сондай-ақ өндіріс пен бөлудің қазіргі заманғы жүйелерін қамтамасыз ету үшін халықаралық жүк тасымалының маңыздылығы үнемі артып келеді. Әуе көлігі-бұл әлемдік сауда құрылымында дайын және қымбат өнімдердің үлесі артқан сайын маңыздылығы артып келе жатқан қарқынды дамып келе жатқан көлік түрлерінің бірі.

Әуе көлігі жүк тасымалдау құралы ретінде ең жедел және әмбебап болып табылады. Ол қымбат жүктерді (мысалы, антиквариат, зергерлік бұйымдар және т.б.) тасымалдау қажеттілігі туындаған кезде, сондай-ақ жүкті мүмкіндігінше шұғыл және жету қиын аймақтарға (мысалы, гуманитарлық көмек, медициналық препараттар) жеткізу қажет болған кезде қолданылады.

Әуе көлігі жүк тасымалдау құралы ретінде ең қымбат екені сөзсіз, бірақ сонымен бірге ол жүктің жоғалуы мүмкін жағдайлардың пайда болуын іс жүзінде жоққа шығарады.

Жүк тасымалдаудың үлкен шығындары мен тамаша жылдамдық көрсеткіштеріне байланысты авиациялық көлік жүк тасымалдаумен айналысатын фирмалардың қызмет көрсету спектрінде маңызды орын алады. Жүк тасымалдаушы компаниялар жүктерді жарықтың кез келген нүктесіне тасымалдауға жәрдемдеседі. Әдетте, көлікпен тасымалдау кезінде осы салада жұмыс істейтін фирмалар жүкті клиент көрсеткен пункттен алып, өз күштерімен әуежайға жеткізуді ұсынады. Сонымен қатар, көбінесе жүк тасымалдаушы компаниялар өз күштерімен жүктерді алып жүретін құжаттарды ресімдеуді, кедендік декларацияларды және авиациялық көлікпен жүк тасымалдау үшін қажетті барлық басқа кедендік құжаттарды толтыруды жүзеге асырады. Клиенттерді тарту үшін жүк тасымалдаушы компаниялар жүкті тікелей әуежайдан көрсетілген жерге жеткізу бойынша қызметтерді, ілеспе құжаттарды жасау және ресімдеу бойынша қызметтерді, сақтандыру қызметтерін ұсынады. Тараптардың өзара уағдаластығы бойынша авиациялық көлікпен жүк тасымалдау жөніндегі қызметтердің осы кең спектріне белгілі бір тапсырыс беруші үшін қажетті басқа да қызметтер енгізілуі мүмкін.

Авиациялық көлікпен жүк тасымалдаудың көптеген артықшылықтары бар. Тасымалдаудың бұл түрінің кемшіліктері тағайындалған жерде ұшақты қондыру мүмкіндігінің болмауы және әуе тасымалына үлкен шығындар деп санауға болады. Сонымен қатар, авиациялық көліктің көмегімен жүк тасымалы тасымалданатын жүктің көлемі мен салмағы бойынша шектеулерге ие.

Авиациялық көлікті пайдалана отырып жүк тасымалдау тұрақты рейстермен (ауыр емес жүктерді тасымалдау кезінде), сондай-ақ жоспардан тыс жалғыз рейс – чартермен (габариттік немесе ауыр жүктерді тасымалдау кезінде) жүзеге асырылады.

Жүк тасымалдау қызметінің негізгі міндеттері:

- Әуежайға жөнелтілетін және келетін жүктерді өңдеу бөлігінде Қазақстан Республикасының, ТМД елдерінің және шет елдердің халқын ұйымдастыру және оларға қызмет көрсету.

- Жүк тасымалдауды ұйымдастыру бойынша технологияларды жетілдіру. Жүк клиенттеріне қызмет көрсету мәдениетін арттыру.

- Жүк клиенттеріне, авиакомпанияларға қызмет көрсетуді ұйымдастыру, түсетін және кететін жүктерді өңдеу.

- Жүктердің сақталуын және уақтылы жеткізілуін қамтамасыз ету жөніндегі іс-шараларды әзірлеу және жүзеге асыру.

- Әлеуметтік және нарықтық басымдықтарды ескере отырып, өндірісті жетілдіру, жұмыс тиімділігін арттыру, қызметтер көлемінің өсуі және пайданың, сапаның және бәсекеге қабілеттіліктің артуы.

- Жүк клиенттерінің, авиакомпаниялардың, ұйымдар мен фирмалардың шағымдары мен шағымдарын қарау.

Нәтижелер.

Жүктерді әуе көлігімен тасымалдауға тарту бойынша жұмыстарды ұйымдастыру, жөнелтушілер, көлемдер, тағайындалған пункттер, жүктердің номенклатурасы бойынша қанағаттанарлықсыз сұранысты зерделеу және есепке алу және тасымалдаушының өтініші бойынша нарықтың жай-күйі мен конъюнктурасы туралы ақпаратты қамтамасыз ету және ұсыну.

ЖТҚ тиімділігінің жоғары деңгейін, жаңа техника мен технологияларды енгізуді, қызмет көрсетудің прогрессивті нысандарын және еңбекті ұйымдастыруды қамтамасыз ету.

Еңбекті қорғауды, қауіпсіздік техникасын және өрт, ТЖ жетілдіру бойынша іс-шаралар өткізу.

Қызмет қызметкерлерінің еңбек тәртібін нығайту, басшы құжаттардың талаптарын тұрақты орындауды қамтамасыз ету жөніндегі іс-шараларды әзірлеу және жүзеге асыру.

ҮБК қызметкерлерін оқытуды, даярлауды және қайта даярлауды ұйымдастыру және қамтамасыз ету.

Талап қою жұмысын және жүкті іздестіру жұмыстарын ұйымдастыру.

Жүк тасымалдау қызметінің функциялары

Жүктерді өңдеуді және әуе көлігі қызметтерін пайдаланатын жүк клиенттеріне, ұйымдарға, фирмаларға қызмет көрсетудің жоғары мәдениетін ұйымдастырады және қамтамасыз етеді.

Жүк клиентурасына қызмет көрсетуді, жүктерді, поштаны өңдеуді ұйымдастыруды жетілдіру жөніндегі іс-шараларды әзірлейді және жүзеге асырады, қызметтің Ақпарат және байланыс құралдарымен техникалық жарақтандырылуын арттыру, процестерді механикаландыру және автоматтандыру шараларын қабылдайды.

Әуежайдың басқа қызметтерімен бірлесіп әуе кемелерінің қозғалыс кестелерінің жобаларын әзірлеуге және оларға өзгерістер енгізуге қатысады.

Ұшулардың жүйелілігін талдайды, әуе кемелері қозғалысының жүйелілігін бұзушылықтарды тудыратын себептердің алдын алу бойынша шараларды қабылдайды.

Ұшып шығатын және ұшатын әуе кемелерін ұшуға дайындау кестелерімен жерүсті қызмет көрсету бойынша технологиялық операциялардың нақты орындалуын қамтамасыз етеді.

Талқылау.

Орталықтандыру кестесіне сәйкес ӘК жүктемесін орналастыруды қамтамасыз етеді.

Авиациялық қауіпсіздік қызметімен, әуежай милициясының желілік бөлімшесімен бірлесіп жүктерге арнайы бақылау жүргізуге жәрдемдеседі.

Кеден органдарымен өзара іс-қимыл жасайды және олардың функционалдық міндеттерін орындауға жәрдемдеседі.

Авиакомпанияға, жүк клиентурасына қызмет көрсету, жүктерді және поштаны өңдеу кезінде қызмет қызметкерлерінің жіберген бұзушылықтарын жою бойынша іс-шараларды әзірлейді және жүргізеді. Жүк клиентурасының, авиакомпаниялардың, кәсіпорындардың, ЖТҚ қызметіне байланысты фирмалардың шағымдары мен шағымдарын қарау үшін қажетті материалдарды ұсынады.

Белгіленген тәртіппен жүктерді және поштаны тасымалдау ережелерін бұзуға құжаттарды ресімдейді. Қажет болған жағдайларда поштаның немесе жүктердің бұзылу, жетіспеушілік, бүліну немесе бүліну фактілерін анықтау үшін қызметтік тергеп-тексеруді ұйымдастырады.

Пошта-жүк тасымалын ұйымдастыруды, әуе көлігі клиентурасына қызмет көрсетуді регламенттейтін тасымалдау ережелерінің, нұсқаулықтардың және басқа да басшылық құжаттардың сақталуын бақылайды.

Белгіленген тәртіппен қатаң және қатаң емес есептіліктегі тасымалдау құжаттарының дұрыс ресімделуіне, қолданылуына және сақталуына жүйелі бақылауды қамтамасыз етеді.

Жүк клиенттерінің, авиакомпаниялардың, ұйымдардың, фирмалардың шағымдарын, шағымдары мен ұсыныстарын қарастырады және жауаптарды дайындауды ұйымдастырады. Хаттар мен шағымдарды қарау бойынша жұмысты жүйелі түрде талдайды. Шағымдар мен шағымдарды тудыратын себептерді анықтау бойынша іс-шараларды әзірлейді және жүзеге асырады. Хаттарға, жүк клиенттерінің, авиакомпаниялардың, ұйымдардың, фирмалардың шағымдарына талдау жүргізеді және оларды авиакәсіпорындардың басшылығына ұсынады.

ЖТҚ қызметкерлерінің Техникалық оқуын ұйымдастырады.

Еңбектің прогрессивті әдістерін зерделеуді және оларды жұмыс тәжірибесіне енгізуді ұйымдастырады.

Жүк терминалын қажетті технологиялық жабдықтармен жарактандыру, жабдықтарды, технологиялық алаңдарды күтіп ұстау, аумақты жинау және өндірістік мәселелер бойынша мәселелерді шешеді.

Әуе жүк тасымалы нарығындағы қазіргі жағдай әлемдік экономикалық дағдарысқа байланысты тасымалданатын жүктер көлемінің айтарлықтай төмендеуімен, сондай-ақ әуе тасымалына сұраныстың динамикасына теріс әсер ететін бірқатар факторлармен сипатталады. Осы факторлардың ішінде көліктің басқа түрлері (атап айтқанда, әуе) тарапынан бәсекелестіктің артқанын, отын бағасының тұрақсыздығын, қатаңдаған экологиялық талаптарды атап өтуге болады. Мұндай жағдайда жүк тасымалдаушылар үшін қазіргі жағдайдың ерекшелігін ескере отырып, шығындарды барынша азайтуға және даму стратегиясын құруға ұмтылу маңызды. Қазіргі уақытта ұйымдастырушылық инновациялар, кооперацияның және тасымалдау процесін ұйымдастырудың жаңа нысандары, әуе тасымалы кезінде тауарды жеткізу процесін оңтайландыру және шығындарды қысқартумен қатар клиенттердің қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ақпараттық технологиялар саласындағы жаңа жетістіктерді енгізу ерекше маңызға ие (Anno-Danini.com, 2025).

ҚР Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігінің азаматтық авиация комитеті 2027 жылға дейін "ашық аспан" режимін бес жылға ұзартты. Бұл режим рейстер саны бойынша барлық шектеулерді алып тастауды және Қазақстандық авиакомпаниялар жұмыс істемейтін маршруттарда шетелдік авиакомпанияларға "ауа еркіндігінің" бесінші дәрежесін беруді көздейді. Бұдан бөлек, "ашық аспан" режимі жаңа шетелдік тасымалдаушыларды тартуға, авиатасымалдаушылардың бәсекелестігін дамытуға, халықаралық маршруттарды ашуға, авиабилеттер құнын төмендетуге, туризмді дамытуға және Қазақстан қалаларының көліктік қолжетімділігін арттыруға ықпал етеді.

"Қазақавионавигация" деректері бойынша соңғы төрт жылда Қазақстанның әуе кеңістігі арқылы әуекомпаниялардың транзиттік ұшулар саны келесідей өзгерді:

- 2019 жылы-89,6 мың.;
- 2020 жылы-59,7 мың.;
- 2021 жылы-64,9 мың.;
- 2022 жылы-124,2 мың.

Қорытынды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – Қазақстанның авиациялық транзиттік әлеуетін, әуе жүк және жолаушылар тасымалы саласындағы өзара іс-қимыл механизмдерін, сондай-ақ өңірлік және халықаралық ынтымақтастық тәжірибесін жан-жақты зерттеу болды. Зерттеу барысында салыстырмалы талдау, статистикалық деректерді өңдеу, нормативтік-құқықтық актілерді қарастыру, аналитикалық бағалау, логистикалық процестерді жүйелі талдау және ақпараттық технологияларды қолдану сияқты әдістер қолданылды.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Қазақстанның авиациялық инфрақұрылымы қарқынды дамып келеді, транзиттік мүмкіндіктерді пайдалану деңгейі тұрақты өсуде. Соңғы жылдары әуе жолаушыларының саны айтарлықтай артты, бұл елдің транзиттік хаб ретіндегі стратегиялық рөлін күшейтеді. Әуе жүк тасымалының көлемі де өсті, бұл логистикалық қызметтердің әртараптандырылуын, жаңа маршруттарды ашуды және

кооперациялық жобаларды тиімді жүзеге асыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, «ашық аспан» режимінің енгізілуі, инновациялық пошта және мультимодальдық хабтардың құрылуы, ақпараттық технологияларды кеңінен қолдану транзиттік ағындарды оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және клиенттердің қажеттіліктерін қанағаттандыруға септігін тигізеді.

Қол жеткізілген нәтижелер авиациялық секторда стратегиялық жоспарлауды жетілдіруге, транзиттік логистика тиімділігін арттыруға және жүк пен жолаушылар тасымалының сапасын жоғарылатуға мүмкіндік береді. Бұл мәліметтер авиациялық саясатты қалыптастыруда, инвестициялық жобаларды жоспарлауда және халықаралық ынтымақтастықты дамытуда практикалық маңызға ие. Сонымен қатар, транзиттік маршруттарды кеңейту, әуе компанияларының қызметін әртараптандыру, инфрақұрылымды жаңарту, логистикалық хабтарды дамыту және инновациялық технологияларды енгізу секілді шаралар Қазақстанның халықаралық аренадағы бәсекеге қабілеттілігін арттыруға бағытталған.

Ұйымдастырушылық инновациялар мен кооперацияның жаңа нысандары, әуе тасымалы кезінде тауар жеткізу процесін оңтайландыру, шығындарды қысқарту және клиенттердің қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін ақпараттық технологияларды енгізу практикалық маңызы зор. Бұл тәсілдер транзиттік қызметтердің сапасын жақсартып, логистикалық тізбектерді қысқартады, әуе компанияларының тиімділігін арттырады және елдің экономикалық өсіміне үлес қосады.

Зерттеу барысында қойылған мақсаттар толықтай жүзеге асырылды, қолданылған әдістер тиімді болды, ал алынған нәтижелер Қазақстанның авиациялық транзиттік әлеуетін арттырудағы ғылыми және практикалық маңызын дәлелдеді. Болашақта зерттеулер транзиттік әлеуеттің экономикалық тиімділігін сандық бағалау, инфрақұрылымды жаңарту, халықаралық серіктестіктердің ықпалын талдау, жаңа логистикалық шешімдерді енгізу және инновациялық технологияларды пайдалану бағытында жалғасуы мүмкін.

Осылайша, зерттеу Қазақстанның авиациялық саласында ғылыми білімді жетілдіруге, транзиттік қызметтердің тиімділігін арттыруға және елдің халықаралық транзиттік әлеуетін нығайтуға нақты үлес қосады. Жұмыстың нәтижелері авиациялық саланың дамуына, транзиттік инфрақұрылымның жаңғыруына, логистикалық қызметтердің сапасын арттыруға, сондай-ақ Қазақстанның әлемдік авиациялық нарықтағы позициясын күшейтуге практикалық жол ашты.

ӘДЕБИЕТТЕР

Шегирбаев, 2025 — Шегирбаев О. Казахстан как евразийский транзитный хаб: инфраструктура, геополитика и связи с глобальным югом [Электронный ресурс]. — URL: https://www.academia.edu/143978460/Казахстан_как_евразийский_транзитный_хаб_инфраструктура_геополитика_и_связи_с_глобальным_югом. — 2025. — С.1–5. (дата обращения: 14.01.2025) [Russ.]

Вайт Тревел, 2023 — Вайт Тревел Транзитный рейс: особенности, правила перевозки багажа и оформление визы [Электронный ресурс]. — B2b.onetwotrip.com. — URL: <https://b2b.onetwotrip.com/blog/advice/tranzitnyj-rejs-osobennosti-pravila-perevozki-bagazha-i-oformlenie-vizy/>. — 2023. — С.1–10. (дата обращения: 13.01.2025) [Russ.]

Kaznu, 2025 — Воздушный транспорт РК [Электронный ресурс] — URL: <https://www.kaznu.kz/content/files/pages/folder21060/%D0%A5%D0%9A%D0%94%20%D0%94%D3%99%D1%80%D1%96%D1%81%207.pdf>. — 2023. — С.1–7. (дата обращения: 14.01.2025) [Kaz.]

Портал "Открытые НПА", 2022 — Об утверждении Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 года [Электронный ресурс]. — Портал "Открытые НПА" — URL: https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=14291348#_Toc119002096. — 2022. — 134 с. (дата обращения: 14.11.2025) [Russ.]

Ишекенова, 2023 — Ишекенова Б. Аэропорты Казахстана станут хабами для грузоперевозок. Подробности [Электронный ресурс]. — Lsm.kz. — URL: <https://lsm.kz/chetyre-aeroporta-kazahstana-stanut-multimodal-nymi-centrami-podrobnosti>. — 2023. — С.1–5. (дата обращения: 14.01.2025) [Russ.]

АСД Центр, 2025 — Что значит транзитные перевозки грузов [Электронный ресурс]. — Logist.kiev.ua. — URL: <https://logist.kiev.ua/chto-znachit-tranzitnye-perevozki-gruzov/>. — 2025. — С.1–5. (дата обращения: 14.11.2025) [Russ.]

Амалбаев, 2025 — Амалбаев А. Авиаиндустрия Казахстана растет за счет пассажиропотока [Электронный ресурс]. — URL: <https://kz.kursiv.media/2025-10-03/slbk-aviaindustriya-kazakhstan-rastet-za-schet-passazhiropotoka/>. — 2025. — С.1–5. (дата обращения: 05.10.2025) [Russ.]

Tourcode.kz, 2023 — Ежедневно более 600 самолетов пролетают над Казахстаном [Электронный ресурс]. — Tourcode.kz. — URL: <https://tourcode.kz/turistam/novost/ezhednevno-bolee-600-samoletov-proletayut-nad-kazahstanom>. — 2023. — С.1–10. (дата обращения: 04.01.2025) [Russ.]

Anno Danini Limited, 2025 — Транзитные перевозки грузов. — URL: <https://anno-danini.com/articles/tranzitnyie-perevozki-gruzov> [Электронный ресурс]. — «Anno Danini Limited». — Anno-danini.com. — 2025. — С.1–10. (дата обращения: 14.11.2025) [Russ.]

Мир финансов, 2023 — В Казахстане пассажирооборот воздушного транспорта вырос на 32% за год [Электронный ресурс]. — Мир финансов — Wfin.kz. — URL: <https://wfin.kz/publikatsii/kazakhstan-v-tsifrah/94669-v-kazakhstane-passazhirooborot-vozdushnogo-transporta-vyros-na-32-za-god.html>. — 2023. — С.1–5. (дата обращения: 14.01.2025) [Russ.]

REFERENCES

Shegirbaev, 2025 – Shegirbaev, O. (2025) Kazakhstan kak evraziiskii tranzitnyi khab: infrastruktura, geopolitika i sviazi s global'nym iugom [Kazakhstan as a Eurasian transit hub: infrastructure, geopolitics and connections with the Global South]. URL: <https://www.academia.edu/143978460/>... — 2025. — pp. 1–5. (accessed: 14.01.2025) [in Russ.]

Vait Travel, 2023 – Vait Travel (2023) Tranzitnyi reis: osobennosti, pravila perevozki bagazha i oformlenie vizy [Transit flight: specifics, baggage rules and visa processing]. B2b.onetwotrip.com. URL: <https://b2b.onetwotrip.com/>... — 2023. — pp. 1–10. (accessed: 13.01.2025) [in Russ.]

KazNU, 2025 – Vozdushnyi transport RK [Air transport of the Republic of Kazakhstan]. URL: <https://www.kaznu.kz/>... — 2023. — pp. 1–7. (accessed: 14.01.2025) [in Kaz.]

Portal "Otkrytie NPA", 2022 – Ob utverzhenii Kontseptsii razvitiia transportno-logisticheskogo potentsiala Respubliki Kazakhstan do 2030 goda [On approval of the Concept for the development of transport and logistics potential of Kazakhstan until 2030]. Portal "Otkrytie NPA". URL: <https://legalacts.egov.kz/>... — 2022. — 134 p. (accessed: 14.11.2025) [in Russ.]

Ishekenova, 2023 – Ishekenova, B. (2023) Aeroporty Kazakhstana stanut khabami dlia gruzoperevozok. Podrobnosti [Kazakhstan's airports will become cargo hubs]. Lsm.kz. URL: <https://lsm.kz/>... — 2023. — pp. 1–5. (accessed: 14.01.2025) [in Russ.]

ASD Tsent, 2025 – Chto znachit tranzitnye perevozki gruzov [What transit freight transportation means]. Logist.kiev.ua. URL: <https://logist.kiev.ua/>... — 2025. — pp. 1–5. (accessed: 14.11.2025) [in Russ.]

Amalbaev, 2025 – Amalbaev, A. (2025) Aviaindustriia Kazakhstana rastet za schet passazhiropotoka [Kazakhstan's aviation industry grows due to passenger traffic]. URL: <https://kz.kursiv.media/>... — 2025. — pp. 1–5. (accessed: 05.10.2025) [in Russ.]

Tourcode.kz, 2023 – Ezhednevno bolee 600 samoletov proletayut nad Kazakhstanom [More than 600 aircraft fly over Kazakhstan daily]. Tourcode.kz. URL: <https://tourcode.kz/>... — 2023. — pp. 1–10. (accessed: 04.01.2025) [in Russ.]

Anno Danini Limited, 2025 – Tranzitnye perevozki gruzov [Transit cargo transportation]. Anno Danini Limited. URL: <https://anno-danini.com/>... — 2025. — pp. 1–10. (accessed: 14.11.2025) [in Russ.]

Mir Finansov, 2023 – V Kazakhstane passazhirooborot vozdushnogo transporta vyros na 32% za god [Air passenger turnover in Kazakhstan grew by 32% in a year]. Wfin.kz. URL: <https://wfin.kz/>... — 2023. — pp. 1–5. (accessed: 14.01.2025) [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp.18–32
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.002>
UDC 656.2

PARALLEL DATA PROCESSING IN AUTOMATED RAILWAY TRANSPORT DISPATCHING SYSTEM

G. Yerkeldessova^{1*}, *V. Lahno*²

¹International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan;

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine.

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz

Gulzada Erkeldesova — PhD, Associate Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6527-7180>;

Valerii Lakhno — Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>.

© G. Yerkeldessova, V. Lahno

Abstract. In modern railway transport, ensuring the quality, reliability, and durability of rolling stock (RS) and track machines (TM) is a key factor for operational efficiency. The research topic is justified by the challenge of integrating traditional, additive, and nanotechnologies into manufacturing processes aimed at improving the performance of railway components. Research aim: to analyze and optimize engineering processes in railway transport using traditional, additive, and nanotechnologies to enhance the quality and reliability of parts. Research objectives: to investigate the potential of additive technologies (3D printing) for producing complex components; to evaluate the effectiveness of nanotechnologies in improving strength, wear resistance, and corrosion resistance of parts and assemblies; to develop and optimize quality control methods using modern sensors and devices, including industrial computed tomography; to assess the economic impact of implementing nanostructured coatings and advanced production processes. Results: additive technologies allow the production of complex parts, reduce component weight, and eliminate material waste. Nanotechnologies enable the creation of defect-free materials and nanoscale structures, increasing durability and service life by 2–5 times. Quality control is performed through surface diagnostics, incoming material inspection, and monitoring of technological parameters. Nanostructured coatings on cutting tools, springs, and RS/TM components improve wear resistance, strength, and reliability. The integration of traditional, additive, and nanotechnologies with flexible manufacturing systems and advanced control tools significantly improves the quality, reliability, and economic efficiency of railway component production. The results provide opportunities for broader applications in other engineering sectors and lay the foundation for further scientific research.

Keywords: nanotechnology, additive technologies, railway engineering, flexible manufacturing systems, nanocoatings, quality control, 3D printing

For citation: G. Yerkeldessova, V. Lahno Parallel data processing in automated railway transport dispatching system // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 18–32. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.002>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІ ДИСПЕТЧЕРІНІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІНДЕ ДЕРЕКТЕРДІ ҚАТАР ӨНДЕУ

Г. Еркелдесова^{1}, В. Лахно²*

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Киев, Украина.

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz

Гульзада Еркелдесова — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6527-7180>;

Валерий Лахно — т.ғ.д., профессор, Украина Ұлттық өмір және қоршаған ортаны қорғау университеті, Киев, Украина.

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>.

© Г. Еркелдесова, В. Лахно

Аннотация. Қазіргі теміржол тасымалында подвижной құраманың (ПС) және жол машиналарының (ПМ) сапасы, сенімділігі және ұзақ қызмет мерзімі маңызды фактор болып табылады. Зерттеу тақырыбы дәстүрлі, аддитивті және нанотехнологияларды өндіріс процестеріне интеграциялау мәселесін шешу қажеттілігінен туындады, бұл теміржол құрамаларының бөлшектері мен агрегаттарының эксплуатациялық сипаттамаларын жақсартуға бағытталған. Зерттеудің мақсаты: дәстүрлі, аддитивті және нанотехнологияларды пайдалана отырып, теміржол машиностроениясы өндіріс процестерін талдау және оңтайландыру арқылы бөлшектердің сапасы мен сенімділігін арттыру. Зерттеу міндеттері: күрделі бөлшектерді шығару үшін аддитивті технологиялардың (3D-басып шығару) әлеуетін зерттеу; бөлшектер мен агрегаттардың беріктігін, тозуға және коррозияға төзімділігін арттыруда нанотехнологиялардың тиімділігін бағалау; қазіргі сенсорлар мен құрылғыларды, соның ішінде өндірістік компьютерлік томографияны қолдану арқылы сапаны бақылау әдістерін әзірлеу және оңтайландыру; наноқабаттарды және заманауи өндіріс технологияларын енгізудің экономикалық әсерін бағалау. Нәтижелер: аддитивті технологиялар күрделі бөлшектерді шығаруға, компоненттердің салмағын азайтуға және материалдық қалдықтарды жоюға мүмкіндік береді. Нанотехнологиялар ақаусыз материалдар мен наномасштабты құрылымдар жасауды қамтамасыз етеді, бұл бөлшектердің беріктігін және қызмет мерзімін 2–5 есе арттырады. Сапаны бақылау беткі диагностика, кіріс материалдарды тексеру және технологиялық параметрлерді мониторинг арқылы жүзеге асырылады. Наноқабаттар кескіш құралдарда, серіппелерде және ПС/ПМ бөлшектерінде тозуға төзімділікті, беріктікті және сенімділікті арттырады. Дәстүрлі, аддитивті және нанотехнологияларды икемді өндірістік жүйелер мен заманауи бақылау құралдарымен интеграциялау теміржол бөлшектерінің өндірісінде сапаны, сенімділікті және экономикалық тиімділікті елеулі жақсартады. Бұл нәтижелер басқа машиналық инженерлік салаларда да қолдануға мүмкіндік береді және одан әрі ғылыми зерттеулердің негізін қалайды.

Түйін сөздер: нанотехнология, аддитивті технологиялар, теміржол машиностроениясы, икемді өндірістік жүйелер, наноқабаттар, сапаны бақылау, 3D-басып шығару

Дәйексөздер үшін: Г. Еркелдесова, В. Лахно Теміржол көлігі диспетчерінің автоматтандырылған жүйесінде деректерді қатар өңдеу // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 18–32 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.002>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.



ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ДИСПЕТЧЕРА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Г. Еркелдесова^{1}, В. Лахно²*

¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

²Национальный университет биоресурсов и природопользования, Киев, Украина.

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz

Гульзада Еркелдесова — PhD, ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: erkeldesova.gulzada@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6527-7180>;

Валерий Лахно — д.т.н., профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина.

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>.

© Г. Еркелдесова, В. Лахно

Аннотация. В современном железнодорожном транспорте обеспечение качества, надежности и долговечности подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ) является ключевым фактором эффективности эксплуатации. Выбор темы исследования обусловлен проблемой интеграции традиционных, аддитивных и нанотехнологий в производственные процессы, направленные на улучшение эксплуатационных характеристик деталей, узлов и агрегатов железнодорожного транспорта. Цель исследования – анализ и оптимизация технологических процессов машиностроения железнодорожного транспорта с использованием традиционных, аддитивных и нанотехнологий для повышения качества и надежности деталей. Задачи исследования: изучение потенциала аддитивных технологий (3D-печать) для производства сложных деталей; оценка эффективности нанотехнологий для улучшения прочности, износостойкости и коррозионной стойкости деталей и узлов; разработка и оптимизация методов контроля качества с применением современных датчиков и устройств, включая промышленную компьютерную томографию; оценка экономического эффекта внедрения наноструктурированных покрытий и современных производственных технологий. Результаты: аддитивные технологии позволяют изготавливать детали любой сложности, снижать массу компонентов и исключать производственные отходы. Нанотехнологии обеспечивают формирование бездефектных материалов и наноразмерных структур, увеличивая долговечность и ресурс деталей в 2–5 раз. Контроль качества осуществляется через диагностику поверхности, входной контроль материалов и мониторинг технологических параметров. Наноструктурированные покрытия на режущем инструменте, пружинах и элементах ПС/ПМ повышают износостойкость, прочность и надежность. Интеграция традиционных, аддитивных и нанотехнологий с гибкими производственными системами и современными средствами контроля существенно улучшает качество, надежность и экономическую эффективность производства деталей железнодорожного транспорта. Полученные результаты открывают перспективы применения этих технологий в других отраслях машиностроения и обеспечивают основу для дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: нанотехнологии, аддитивные технологии, железнодорожное машиностроение, гибкие производственные системы, нанопокртия, контроль качества, 3D-печать

Для цитирования: Г. Еркелдесова, В. Лахно Параллельная обработка данных в автоматизированной системе диспетчера железнодорожного транспортного средства //

Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88 . Стр. 18–32. (На англ.).
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.002>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction

In modern railway transport, ensuring the quality, reliability, and durability of rolling stock (RS) and track machines (TM) is a critical factor for operational efficiency and safety. The choice of this research topic is justified by the observed problematic situation: despite significant achievements in traditional mechanical engineering, there is an urgent need for new technologies and materials that can substantially improve the operational performance of railway components. Analysis of previous studies (Pervertov et al.) shows that although flexible manufacturing systems and additive technologies have been actively implemented, unresolved issues remain regarding the comprehensive integration of traditional, additive, and nanotechnologies for optimizing production processes and quality control.

The relevance of the study is determined by increasing demands for reliability and durability of railway equipment, the need to reduce production costs, minimize material waste, and enhance the economic efficiency of railway engineering. At the same time, modern control and diagnostic methods, such as industrial computed tomography, high-precision sensors, and photonic fiber-optic devices, allow for significantly improved accuracy and reliability of manufacturing processes, but their application requires systematic analysis and optimization.

Research object: technological processes for manufacturing railway transport parts, components, and assemblies.

Research subject: the use of traditional, additive, and nanotechnologies in engineering to improve the quality, reliability, and economic efficiency of railway transport components.

Research aim: to analyze and optimize engineering processes in railway mechanical engineering by integrating traditional, additive, and nanotechnologies, and developing quality control methods to enhance durability and reliability of parts.

Research objectives:

- To investigate the potential of additive technologies (3D printing) for producing complex parts and reducing component weight without compromising strength.
- To evaluate the effectiveness of nanotechnologies in improving strength, wear resistance, and corrosion resistance of parts and assemblies.
- To develop and optimize quality control methods using modern sensors and devices, including industrial computed tomography.
- To assess the economic impact of implementing nanostructured coatings and advanced production processes.

Methods and approaches: combined literature analysis, modeling of technological processes, experimental quality control of parts, and assessment of economic efficiency of technology implementation.

Research hypothesis: integration of traditional, additive, and nanotechnologies with modern control systems will improve the quality, reliability, and economic efficiency of railway component production, creating conditions for their wide industrial application.

Materials and methods.

The idea of using parallel computations in dispatching RS movement tasks were previously considered by various experts (Gapanovich et al. 2011: 5–11). At the same time, in a number of papers, for example, in (Mozharova, 2011: 216–217; Arkatov, 2012: 22–28), it was noted that an important direction for modernization of the existing and design of new ADCS, primarily for HSRT, are the tasks related to RS HSRT movement coordination in conditions imposed on solving time constraints. We should note that many of the proposed models (Arkatov, 2012: 22–28; Smagulova et al., 2016: 247–256.) due to the complexity of the algorithms were not implemented.

In works (Smagulova et al., 2016: 247–256; Agafonov, 2017: 9) there were analyzed circumstances that contribute to the imposition of restrictions on the time for solving tasks of RS movement coordination (including HSRT). They include:

design, technological and algorithmic constraints imposed on the parameters of the maximum speed of computers that use sequential algorithms in the calculations;

the need to make decisions in ADCS during small time periods, taking into account the speed of the modern railway transport, especially HSRT.

In works (Borushko, 2007: 33–37; Levin, 2016: 38–41) the authors carried out a detailed review and analysis of various information systems, which allow to automate the dispatching processes of the railway transport, including HSRT. An analysis of these and other publications (Davidsson et al., 2005: 255–271; Fay, 2000: 719–729) on the subject of our research showed that the task of dispatching control and movement coordination in the existing automated systems on the railway transport requires further generalization. This is evidenced by the performance of the timetable correction mainly by dispatchers. Also, there are no systems and software products that automate this process in real-time, for example, for HSRT.

According to the analysis of a number of publications (Agafonov, 2017: 9) it was revealed that a promising direction of the research in this subject area is the organization of decision-making assistance by the driver and data relevance control which is transmitted to the mobile means of HSRT. Therefore, it is proposed to supplement the existing automated system of railway transport, including HSRT, through the implementation of an automated movement dispatching information system.

The organization of parallel calculations in the process of solving dispatching tasks and RS movement coordination, including HSRT, is implemented mainly through the introduction of the multiprocessor systems (Arkotov, 2012: 22–28; Borushko, 2007: 33–37; Ning et al., 2006: 80–83; Ning et al., 2011: 473–1483). As shown on (Levin, 2016: 38–41) this approach allows one-time execution of several operations during data processing. At the same time, the processes of performing computational tasks are significantly accelerated, for example, in a situation when the algorithm can be broken down into information independent components. At the same time, the implementation organization of each of the parts of calculations is implemented on different servers of automated railway systems. As the researches have shown (Davidsson et al., 2005: 255–271; Fay, 2000: 719–729) this approach has significantly reduced time costs in comparison with the classical approach, when each task is assigned only by existing server (Davidsson et al., 2005: 255–271; Fay, 2000: 719–729; Coll et al., 1990: 244–255). However, as the authors note themselves, this approach to the parallelism in the implementation of computational tasks of dispatching and RS movement coordination on the railway transport has not been implemented.

Also, as the analysis of the researches showed (Arkotov, 2012: 22–28; Agafonov, 2017: 9; Ning et al., 2011: 1473–1483; Fay, 2000: 719–729; Coll et al., 1990: 244–255), the problem of parallelization was not solved from the point of view of increasing the efficiency of existing algorithms. In addition, in these papers, there is no mention about an important aspect of algorithm computational capability optimization, for example, if necessary, in order to obtain the results of calculations for a limited time.

All the above conditioned makes the theme of our research relevant.

Development of algorithm models used in dispatching tasks by the movement of rolling stock of the railways of the Republic of Kazakhstan, including high-speed transport, and its coordination on the basis of parallel calculations.

In order to improve the efficiency and safety of railway transport, as well as the account of time constraints in the ADCS, imposed on the calculations, it seems necessary to divide the RS into separate groups. At the same time, by introducing parallel processing modes, it is possible to achieve the execution of algorithms in solving problems of dispatching and coordination of RS, including HSRT.

We believe that the railway network of Kazakhstan is divided into separate dispatcher responsibility areas (DRA). Inside the DRA there is a dispatching of RS moving exclusively in DRA. If RS move between the areas, the dispatcher coordinates the movement in the central railway transport control room of Kazakhstan.

The basis of the developed system is a communication standard that satisfies the necessary requirements for the functioning of the system as a whole. For example, the GSM standard can be used as a mobile communication standard, see fig. 1. The application server is connected with the automated workplaces of DRA dispatchers, as well as with the database server and the RS onboard computers.

Let introduce the definitions. The reference point (RP) - a point on the navigation map, in which for the analyzed RS there is performed a check for the presence/absence of conflicts in the movement schedule. We believe that if such a conflict is detected, then a control action is generated by the ADCS. We put the RP in such a way in order to provide time for decision-making.

It has been revealed that a promising approach is the organization of decision support systems by the driver and control of the data relevance that is transmitted to the locomotives (diesel locomotives and electric locomotives, including HSRT). Therefore, it is proposed to supplement the existing automated railway transport system by implementing the traffic dispatch information system Fig. 1.

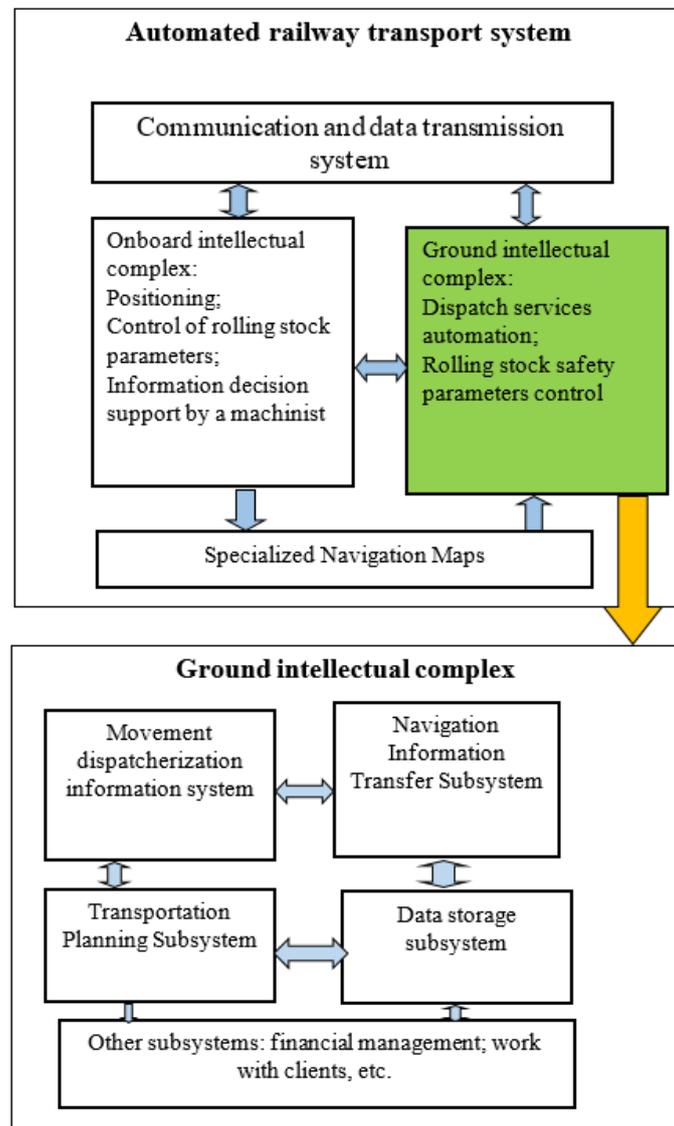


Fig. 1. Movement dispatcher information system as part of a ground intellectual complex

Results and discussion.

For the full functioning of the automated dispatching control system (ADCS), it is necessary to use navigation equipment and on-board intellectual systems (Skalozub et al., 2013; Gapanovich et al., 2011: 5–11), which are installed on the HSRT rolling stock. They provide information transmission about the HSRT location as well as management decision-making. In this case, the following dilemma arises - an increase of the HSRT amount will increase the network load in the communication channels. This, in turn, will require the use of wider frequency channels in comparison with the usual ones for mobile communication systems. With the development of HSRT in the Republic of Kazakhstan, it will be necessary to use highly effective approaches for channel resource control. Then it is necessary to solve the problem of estimating the existing GPRS systems that provide communication and transmission of HSRT data.

Information exchange technology of the movement coordination system. In general, the information exchange of the movement coordination system of the rolling stock can be presented by the scheme shown in Fig. 2

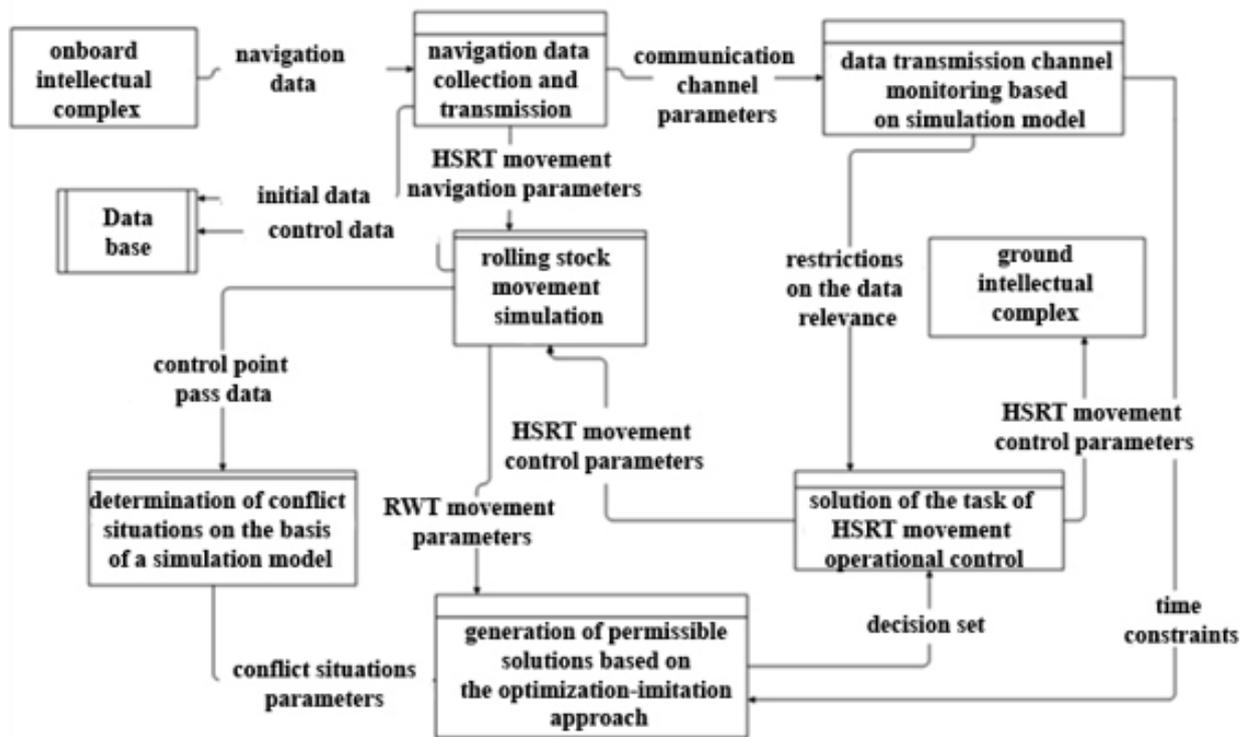


Fig. 2. The modernized information system for the movement dispatching automation as part of the ground intellectual complex for the HSRT control of the Republic of Kazakhstan

Navigation signals of GNSS satellites are received using special GPS/GSM receivers that process them and receive navigation data in the WGS-84 coordinate system (latitude, longitude, time, etc.). This system uses receivers with a frequency of information updating at least 5 times per second (5 Hz), since they provide the necessary accuracy in calculating the location of an object on the map.

Navigation signals are received at a frequency of 1227.6 MHz using GNSS Navstar/GPS and 1200 MHz using GLONASS. In order to obtain data on the location of a train, the receiver must “see” at least 4 satellites (otherwise the error may be significant).

The use of GPRS technology on the railway transport led to a significant increase in the capacity of data transmission channels. For example, the maximum transmission rate, in the condition of 8 timeslot use, can be approximately 172 kbps. The packet switching application is also possible. This approach distinguishes from circuit switching in CSD/HSCSD (Smagulova et al., 2016: 247–256; Davidsson et al., 2005: 55–271).

This approach ultimately allows to maximize the efficiency of base stations resource use. But at the same time, in order to implement this technology, it is necessary to supplement the network structure with new components, for example, such as SGSN, GGSN (Mozharova, 2011: 216–217).

In the case of the possibility of EDGE (Mozharova, 2011: 216–217; Agafonov, 2017: 9) technology use, which is a little different from GPRS, it can also be implemented on the existing networks. Modernization of the dispatching system during the EDGE implementation will entail the need to solve other problems. This, in particular, relates to issues that relate to changes in coding schemes, as well as modernization in software on network components. We should that the maximum speed that EDGE can provide is about 474 kbps (8 timeslots of approximately 60 kbps) (Agafonov, 2017: 9; Davidsson et al., 2005: 255–271).

With the help of a special matrix the obtained coordinates are recalculated into the coordinate system of navigation maps created to work with a system for movement coordination the of the rolling stock and HSRT.

Output coordinates are transmitted to the server of the mobile operator using CSD/GPRS technology. Note that the coordinates, which were calculated, are used to display the location of the rolling stock on the onboard computers of the HSRT. The mobile operator must provide the speed of information transmission using a GPRS channel of at least 50 kbit/s and APN free from the total traffic (Mozharova, 2011: 216–217).

The server part of the software is located on a computer with a permanent connection to the Internet and an to the IP address. The tasks of the server part can be formulated as follows:

- to receive data from mobile devices on the location (current coordinates) of HSRT (or conventional railway transport);
- to ensure the security of the connection, encoding and data decoding;
- to store the received data.

This ensures the reliability of the transmission and storage of route data and the dispatcherization parameters of the HSRT. And it is also necessary in the tasks of movement coordination of the rolling stock.

Considering the possibility of communication loss between the mobile equipment and the server, it is necessary to provide special functions that allow to transfer to the server all the data that was accumulated during the period when the object was not in the GSM coverage area.

The client part (dispatcher workplace) is a software product. This software product is able to work on ordinary computers that have access to the Internet, and also receive data both in real time and can accumulate the history of data received from the database server (DB).

The database server also stores GPS control data of the HSRT.

Data from the database can be visualized on electronic maps, with the reference to the current location of the HSRT object.

Such a construction of the dispatching and HSRT movement coordination system based on GPS navigation allows the dispatcher to make prompt decisions necessary for elimination the conflict situations on the road.

A special place among the information geographically distributed systems occupy data transmission systems for hard-to-reach objects - for example, the system for HSRT movement coordination. A feature of such data transmission systems is, above all, the use of wireless communication channels – radio, satellite, and mobile communication channels. In this connection, the task of optimizing a communication system with such parameters as time, cost and reliability of message delivery has a particular importance.

It should be noted that in the developed system it is necessary to provide an equal access mode of HSRT rolling stock to the provided communication channels. Users should have a technologically equal opportunity to transfer data packets related to the HSRT state or voice calls. There is considered the possibility of implementing a scenario in which voice traffic detection between the dispatcher and the HSRT driver should have a higher priority than the service of

GPRS packets. This can be adjusted by prioritizing the call or data transmission. In the designed automation dispatch control system, we should also provide a storage drive for servicing only GPRS packages.

In regard of the review, it is proposed to supplement the existing automated railway transport system (including HSRT) through the implementation of the movement dispatchirization information system, which is shown on Fig. 2

The proposed system (Fig. 2) has a hierarchical structure, the components of which are the automated workplaces (AWPs) of the railway dispatchers, the AWS of the RWCh dispatcher, message switching centers (SSGN) and communication channels. At the upper level of the hierarchy there is the dispatcher AWP of the corresponding dispatcher area (DA), and the lower level of the hierarchy is represented by rolling stock of railways, in particular, the HSRT.

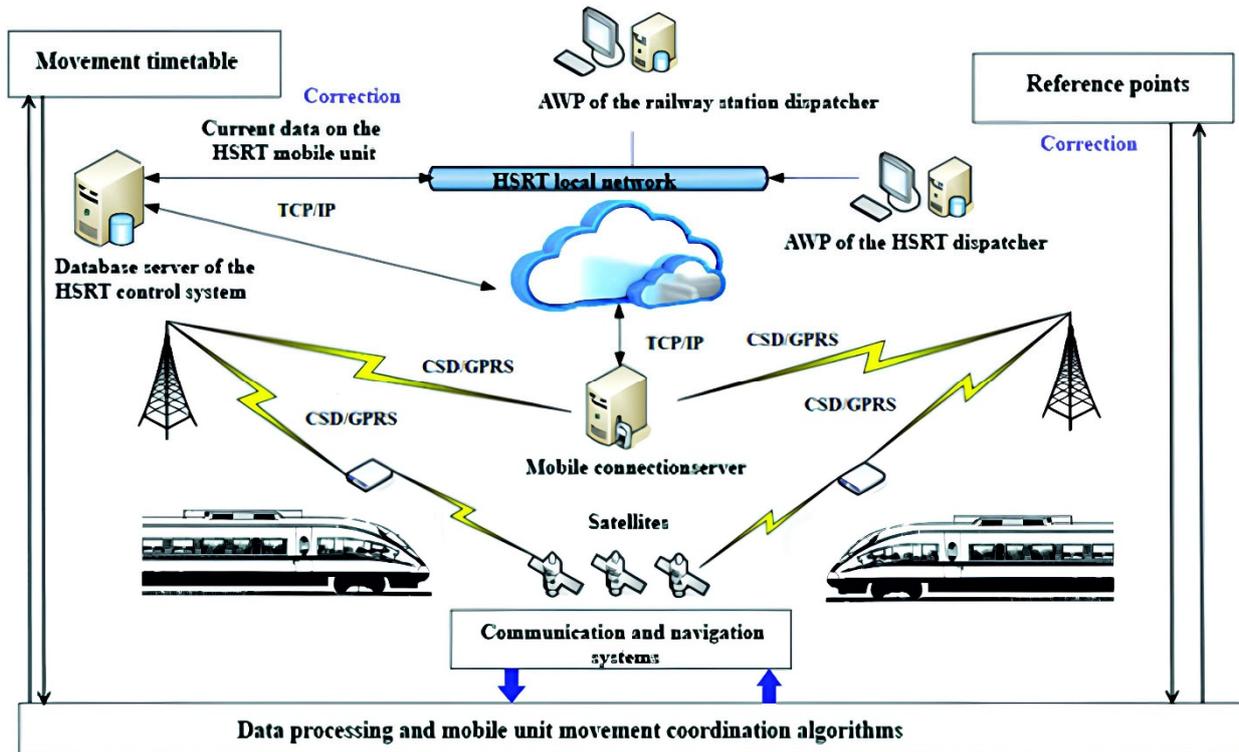


Fig. 3. Scheme of the information exchange of the railway transport movement coordination and dispatching system of the Republic of Kazakhstan

Navigation information for ADCS is a set of coordinates and speed of RS movement. This information comes from the GPS/GPRS-modems installed, for example, on the RS. This allows to position clearly the RS units on the navigation maps. At the same time, the current speed of the RS movement allows to estimate time intervals until reaching the RP.

Developing a parallel algorithm, we must first of all evaluate the effectiveness of its application in comparison with the sequential problem solution. We believe that the developed algorithm should solve the problem of RS movement coordination. Let introduce the sequence of the indicated problem solution in the form of a directed graph, see fig. 2. The presented graph allows to create an algorithm for parallel calculations for the tasks of making corrections to the RS schedule. In this case, the initial data will be information about the RS location and the check for conflict absence in the schedule. In order to obtain the initial data there was involved a subsystem, including navigation equipment installed on the RS. This information is sent to the database server (DB). The server is located in the corresponding DRA or in another point of the railway transport network.

We believe that a more productive approach will be an approach when the organization of the computational process makes it possible to reduce the time intervals for solving the RS

coordination problem. In particular, due to the parallel execution of the algorithm for calculating the set of trains moving to the DRA, and their movement coordination.

If along the route the RS movements pass through several DRA, the results of the algorithm work, coordinating RS graphs, are combined. Further correction is performed in the schedule. On the graph (see Fig. 4) the vertices without input arcs are used in order to obtain navigation information. Vertices without output arcs - to make corrections to the RS schedule.

We will assume that there are a number of trains in DRA – $MTR_i = \{1, 2, \dots, j, \dots, N-1\}$, where i – index of the analyzed DRA in ADCS. On the navigation maps used by the dispatcher or the ADCS, there are indicated RP – $MCP_i = (1, \dots, M_i)$. With the help of ADCS, it is necessary to determine time intervals or a specific time of departure/arrival of the mobile unit (hereinafter RS), i.e. to find $t^{pr} (pr = 1, 2, \dots, N-1)$, where r – the sequence of RS occurrence in DRA.

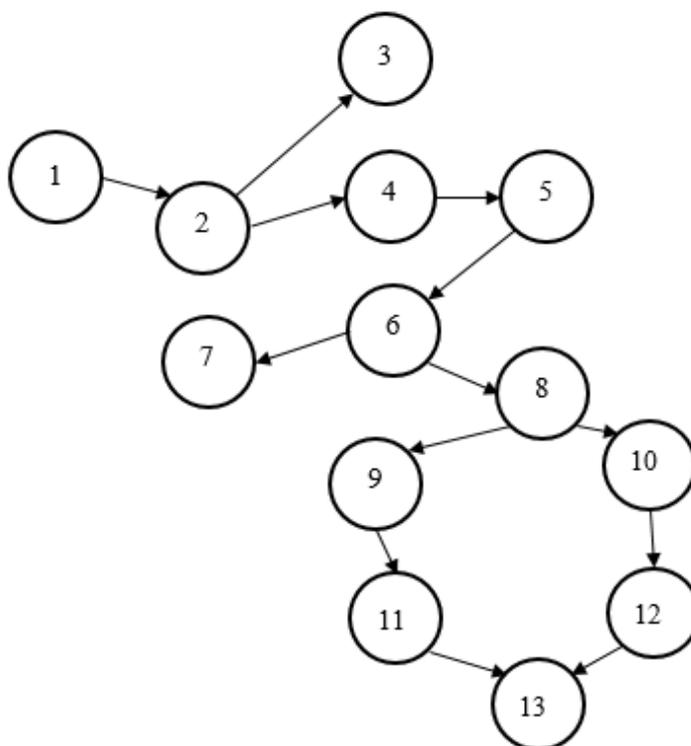


Fig. 4. Graph diagram of the algorithm for the RS schedule correction for the option of tasks parallelization

Positions: 1 – to determine the dispatcher responsibility area (DRA); 2 – to receive information from navigation equipment installed on the RS; 3 – to create a list of RS, which is not checked by the dispatcher; 4 – to determine the RS for verification at reference points (RP); 5 – verification of the RS movement schedule; 6 – check for conflict absence in the schedule; 7 – to form a set of RS which moves without conflicts in the schedule; 8 – to form a set of RS, which have a conflict in the schedule; 9 – to check for the possibility of making corrections to the schedule; 10 – to perform the following test for RP; 11 – development of control action; 12 – new RP; 13 – movement correction for DRA

We believe that for MTR_i using the ADCS, the specific time of RS departure/arrival is calculated, i.e. $t_j^{pr} (pr \in MTR)$, $j \in MTR_i^*$, where $MTR_i^* = \{1, 2, \dots, j, \dots, N-1\}$ – is the ordered set of MTR_i in ascending order t^{pr} . Then t_j^{pr} – the estimated time of RS arrival, and j – the index of the departure/arrival order of the RS.

Let suppose that in a particular DRA there is appeared a RS with a number N and estimated time t_x^N , x – an unknown index that can be found from the inequality:

$$t_{i-1}^{pr_i} < t_x^N < t_i^{MTR_i}. \quad (1)$$

Therefore, if $x = i$, then the index j will increase by 1, starting from t_j^{MTR} .

You can check the condition for conflict absence in the RS departure/arrival schedule:

$$\begin{aligned} t_i^N - t_{i-1}^{pr^*} &\geq \tau_{\min}, \\ t_{i-1}^{MTR_i^*} - t_i^N &, \end{aligned} \quad (2)$$

where τ_{\min} – safe time interval between RS (in ADCS there is considered the way from which or on which the RS arrives/is sent).

If inequalities (1) and (2) are fulfilled, then we find the real time of RS arrival/departure: $t_i^N = t_i^{N^*}$. If (1) or (2) are not fulfilled, then for RS with a number N there may occur a conflict. All trains (or RS) for which a conflict in the timetable is possible, form a subset $MTR_{i_1}^* \notin MTR_i^*$.

We can find the capacity of $MTR_{i_1}^*$ by analyzing the implementation of the following inequalities:

$$\begin{aligned} t_{i-m}^z - t_{i-m+1}^{pr^*} &\leq \lambda \cdot \tau_{\min}, \\ m &= 2, \dots, i-1, \\ t_{i+n}^{MTR^*} - t_{i+n-1}^o &\leq \lambda \cdot \tau_{\min}, \\ n &= 2, \dots, N-i, \\ (z, o, pr, mtr &\in MTR_i), \end{aligned} \quad (3)$$

where $\lambda = 2$, because all RS, except z , have safe time interval in the schedule τ ;

t_{i-m}^z – time of RS arrival/departure with a number different from z by m positions;

o – queue length in case of conflicts in the schedule;

t_{i+n-1}^o – time for RS movement in the queue with a sequence number different from z by $n-1$ position;

pr – RS arrival/departure in RP.

For example, we need to determine the delay time of the RS, i.e. to find Δt_j^{pr} .

Delay time is determined for the subset $MTR_{i_1}^*$, using this dependence for minimization:

$$\begin{aligned} \min \Theta &= \sum_{j=i-m_1+1}^{i+n_1-1} k_j \cdot |\Delta t_j^{pr}|, \quad j \in MTR_{i_1}^*, \\ pr &\in MTR_i, \end{aligned} \quad (4)$$

where k_j – RS weight coefficient with a number j .

We should note that at determining the value k_j we take into account the calculated data on the cost per hour of the rolling stock.

Then we will find the safety evaluation for the time intervals of RS arrival/departure in the process of checking the following inequality:

$$\begin{aligned}
 & t_{j+1}^{pr} - \Delta t_{j+1}^{pr} - t_j^{MTR} + \Delta t_j^{MTR} \geq \\
 & \geq \tau_{\min}, j = i - m_1 + 1, \dots, i + n_1 - 1, \\
 & pr, mtr \in MTR,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

where t_j^{mtr*} – real time of RS arrival/departure (mtr), in the conditions of priority, i.e. $j \in MTR_{i1}^*$.

We believe that by applying the ADCS and the corresponding control actions, all Δt_j^{pr} can be eliminated.

Therefore, on the basis of dependencies (1) - (5) there was developed an algorithm for parallel calculations of movement coordination and RS dispatching.

This algorithm is only a small part of the software systems included in the software package for the ADCS. The main objective of this research was to test the hypothesis about the desirability of replacing the classical approach with the sequential calculation of the PS coordination parameters, which, in our opinion, is expedient with the computer equipment replacement in the ADCS. The fact of using the advantages of multi-step and parallel programming on modern processors such as i5, i7 was also taken into account.

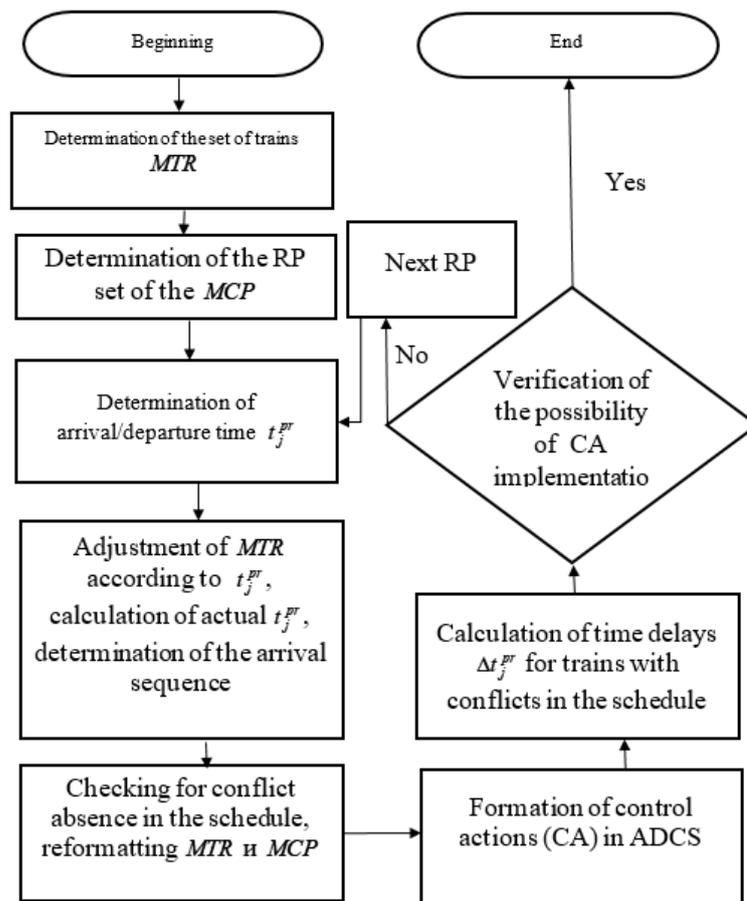


Fig. 5. Algorithm for parallel calculations of the RS movement coordination and dispatching

The Fig. 5 shows an algorithm for parallel calculations of the RS movement coordination and dispatching, obtained on the basis of our model. The algorithm involves the creation of two flows that can be processed in parallel on different cores of multi-core processors. Therefore, there is achieved an increase in the rate of control actions (CA) generation in a situation when there is

occurred a large amount of conflict situations with the railway RS arrival/departure, which is primarily important for high-speed railway transport in the Republic of Kazakhstan

In order to test the effectiveness of the algorithm, there was performed an experimental check in comparison with the sequential problem solution.

The Fig. 6 shows the results of testing the parallel data processing algorithm solving problems of the RS movement coordination and dispatching. Simulation experiments were performed on a PC with an i5 processor.

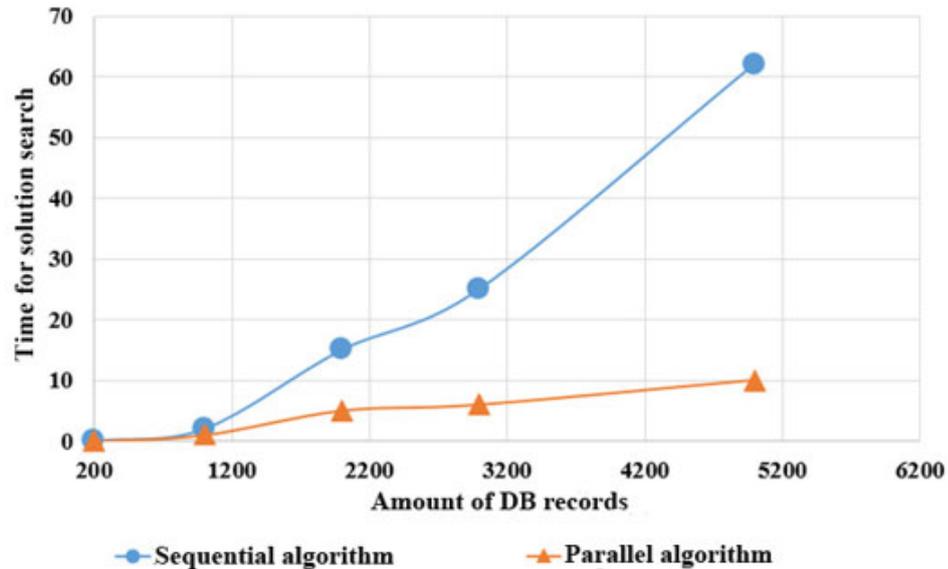


Fig. 6. Algorithm testing results

The results of simulation experiments showed that the effect from the use of parallel calculations (in comparison with the conventional railway sequential algorithm for calculating the movement schedule) is achieved through parallelization by the flow accessing the database. With the increase in the amount of records in the database, the solution time was reduced on average by 2.5–3.5 times.

Therefore, during the simulation there was tested a model and algorithm for parallel data processing. The proposed algorithm for solving the initial dispatching task is divided into separate processes. The execution of processes is carried out in parallel mode. Thus, the computational ability of the algorithm is significantly increased under the conditions of time constraints.

In our opinion, the advantage of the proposed approach is the fact that a new algorithm has been developed for solving the problems of the movement coordination and dispatching of the RS schedule. The algorithm, in comparison with the existing solutions, takes into account the possibility of using parallel computing technologies. Experimental verification of the proposed algorithm showed that the actual processing time of the received data and the generation of control actions for the PS dispatching, compared with the sequential processing of the initial data, decreased by 24–47 %.

Prospects for further research are following: it is necessary to test a model that minimizes the deviations of the time intervals of the PS arrival at the station; to minimize control costs associated with the modernization of the ADCS.

Conclusion

The present study comprehensively analyzed the integration of traditional, additive, and nanotechnologies in railway engineering, focusing on improving the quality, reliability, and durability of rolling stock (RS) and track machines (TM). The research objectives—investigating additive technologies, evaluating nanotechnologies, optimizing quality control methods, and

assessing economic impacts—have been successfully realized through a combination of theoretical analysis, experimental investigations, and process modeling.

The findings demonstrate that additive technologies (3D printing) provide unprecedented flexibility in the production of complex components. Unlike conventional manufacturing methods, additive processes allow for layer-by-layer construction of parts directly from digital models, minimizing material waste, reducing production costs, and enabling weight reduction without compromising structural integrity. This contributes not only to improved operational efficiency but also to environmental sustainability by decreasing raw material consumption.

Nanotechnologies were shown to have a transformative impact on component performance. By manipulating materials at the atomic and molecular scale, it is possible to produce defect-free structures with enhanced physical, chemical, and mechanical properties. The application of nanostructured coatings to cutting tools, springs, bearings, and critical RS/TM components significantly increases wear resistance, corrosion resistance, and durability. In particular, ultra-high-strength springs produced with optimized thermal and mechanical processing demonstrated improved fatigue resistance, reliability under low-temperature conditions, and extended operational lifespan. These innovations have the potential to increase component life by 2–5 times, reduce maintenance requirements, and improve overall safety in railway operations.

Quality control methods, including high-precision sensors, fiber-optic photonic devices, and industrial computed tomography (CT), were integrated into production processes to monitor part geometry, material composition, and microstructural integrity. This ensures that any deviations from required specifications are detected early, thereby reducing scrap rates and enhancing the reliability of manufactured components. Such measures also allow for optimization of production parameters before part fabrication, minimizing errors and improving economic efficiency.

The practical significance of this research is substantial. The proposed integration of additive and nanotechnologies, alongside flexible manufacturing systems and advanced diagnostic tools, provides a pathway to modernize railway engineering, reduce production costs, improve energy efficiency, and extend maintenance intervals. The technologies and methods developed in this study can be applied across various sectors of transport engineering, including automotive, aerospace, and high-precision industrial manufacturing. Additionally, these solutions support import substitution strategies by producing high-performance components that match or exceed the quality of foreign analogues.

From a scientific perspective, the study contributes to the advancement of knowledge in manufacturing technologies, materials science, and industrial engineering. It demonstrates the feasibility of synergistically combining traditional, additive, and nanotechnologies within a single production framework, highlighting the benefits of multidisciplinary approaches for complex engineering systems.

Future research directions include:

- Further optimization of additive manufacturing processes using artificial intelligence, machine learning, and digital twin simulations.
- Development of novel nanomaterials with enhanced mechanical, thermal, and tribological properties for railway components.
- Expansion of in-line and non-destructive quality control using industrial CT, advanced sensors, and real-time monitoring systems.
- Comprehensive economic analysis of integrating these advanced technologies at large-scale industrial operations.
- Exploration of additional applications of nanocoatings and additive manufacturing in other transport and industrial sectors, including energy and construction machinery.

In conclusion, this study confirms that the integration of traditional, additive, and nanotechnologies, combined with flexible manufacturing systems and advanced quality control

methods, significantly improves the reliability, durability, and economic efficiency of railway components. The findings provide a strong foundation for further technological innovation, ensuring safer, more efficient, and more sustainable railway operations, and represent a meaningful contribution to the scientific and practical development of modern railway engineering.

REFERENCES

- Arkatov, 2012 — Arkatov D.B. Models of decomposition and parallel processing of data of an automated system for mobile vehicles movement coordination // *Problems of Information Technologies*. — 2012. — № 2. — Pp. 22–28. [Eng.]
- Agafonov, 2017 — Agafonov D.V. Analysis of the feasibility of separating the railway infrastructure of high-speed highways in the Russian Federation // *Internet journal Naukovedenie*. — 2017. — 9 (1 (38)). [Eng.]
- Borushko, 2007 — Borushko Yu.M., Semenov S.B., Titov N.N. ACS “Navigation and Control” based on satellite technologies for railway transport // *Satellite technologies and digital communication systems in the service of railways*. — M.: VIIAC, 2007. — Pp. 33–37. [Eng.]
- Coll, 1990 — Coll D.C. et al. The communications system architecture of the North American advanced train control system // *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. — 1990. — T. 39. — № 3. — Pp. 244–255. [Eng.]
- Davidsson, 2005 — Davidsson P. et al. An analysis of agent-based approaches to transport logistics // *Transportation Research Part. — C: Emerging Technologies*. — 2005. — T. 13. — № 4. — Pp. 255–271. [Eng.]
- Fay, 2000 — Fay A.A. Fuzzy knowledge-based system for railway traffic control // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. — 2000. — T. 13. — № 6. — Pp. 719–729. [Eng.]
- Gapanovich, 2011 — Gapanovich V.A., Rozenberg I.N. The main directions of the development of the intellectual railway transport // *Railway Transport*. — 2011. — № 4. — Pp. 5–11. [Eng.]
- Jianjun, 1998 — Jianjun Z.L.H.S.M., Yixiang Y. Network Hierarchy Parallel Algorithm of Automatic Train Scheduling // *Journal of the China Railway Society*. — 1998. — T. 5. [Eng.]
- Jiaying, 2007 — Jiaying W. Railway Traffic Dispatching Control Simulation System // *China Railway Science*. — 2007. — T. 5. — P. 024. [Eng.]
- Levin, 2016 — Levin B.A. Innovation in the scientific provision of transport security // *World of Transport*. — 2016. — № 1. — Pp. 38–41. [Eng.]
- Mozharova, 2011 — Mozharova V.V. Transport in Kazakhstan: current situation, problems and development prospects. — Almaty: KISR under the President of the Republic of Kazakhstan, 2011. — Pp. 216–217. [Eng.]
- Ning, 2006 — Ning B. et al. Intelligent railway systems in China // *IEEE Intelligent Systems*. — 2006. — T. 21. — № 5. — Pp. 80–83. [Eng.]
- Ning, 2011 — Ning B. et al. An introduction to parallel control and management for high-speed railway systems // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. — 2011. — T. 12. — № 4. — Pp. 1473–1483. [Eng.]
- Skalozub, 2013 — Skalozub V.V., Solov’ev V.P., Zhukovitsky I.V., Goncharov K.V. Intelligent transport systems of railway transport (fundamentals of innovative technologies): manual. — 2013. [Eng.]
- Smagulova, 2016 — Smagulova Sh.A. et al. Development and management of the transport industry in Kazakhstan // *Strategic and Project Management*. — 2016. — Pp. 247–256. [Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 33–44
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.003>
УДК 3977

AUTOMATED ROAD CUTTER FOR REPAIRING VARIABLE ROAD SURFACES

N. Kamzanov

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: nuke963@mail.ru

Nurbol Kamzanov — PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan
E-mail: nuke963@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6996-1365>.

© N. Kamzanov

Abstract. This study focuses on precision control of rut milling on the highways of the Republic of Kazakhstan. Rut formation is one of the main causes of road traffic accidents, making the improvement of road repair technologies highly relevant. The aim of this work is to develop methods for controlling automated road milling machines to increase surface smoothness, reduce profile deviation dispersion, and enhance traffic safety. To achieve this goal, the following tasks were undertaken: analysis of existing rut milling technologies, study of automated road machine control methods, development of a digital road surface model and its integration with the feedback system, and experimental testing using disc milling tools. Modern non-contact laser sensors, numerical control systems, and corrective variable movements of the milling cutter were employed. Experimental results demonstrated that precision control significantly reduces the root mean square deviation of the milled surface, compensates for tool wear, thermal deformations, and tire pressure fluctuations. This ensures high smoothness of the road surface, minimizes lateral rut protrusions, and reduces the risk of traffic accidents. In conclusion, the proposed method of precision rut milling control is an effective tool for improving road repair quality. The results have practical significance for integration into modern numerical control systems of construction and road machines, and open prospects for further optimization of technological processes and enhancement of traffic safety.

Keywords: rut, road milling machine, precision control, digital model, road surface, traffic safety, milling

For citation: N. Kamzanov Automated road cutter for repairing variable road surfaces // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 85. Pp. 33–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.85.01.000>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ӨЗГЕРЕТІН ЖОЛ ЖАБЫНДАРЫН ЖӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН АВТОМАТТЫ ЖОЛ КЕСКІШ

Н. Камзанов

Satbayev University, Алматы, Қазақстан.
E-mail: nuke963@mail.ru

Нурбол Камзанов — PhD, Satbayev University, Алматы, Қазақстан
E-mail: nuke963@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6996-1365>.

© Н. Камзанов



Аннотация. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасындағы автомобиль жолдарында колеяларды дәлме-дәл фрезерлеуді басқаруға арналған. Колеяның пайда болуы жол-көлік оқиғаларының негізгі себептерінің бірі болып табылады, бұл жол жабынын жөндеу технологияларын жетілдірудің өзектілігін арттырады. Зерттеудің мақсаты – автоматтандырылған жол фрезаларын басқару әдістерін жасап шығару, жол жабынының тегістігін арттыру, профиль ауытқуларын азайту және жол қауіпсіздігін қамтамасыз ету. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді: қолданыстағы колея фрезерлеу технологияларын талдау, автоматтандырылған жол машиналарын басқару әдістерін зерттеу, жол жабынының цифрлық моделін жасау және оны кері байланыс жүйесіне интеграциялау, дискілі фрезалармен эксперименттік сынақтар жүргізу. Зерттеуде заманауи байланыссыз лазер датчиктері, сандық басқару жүйелері және фрезаның түзету перемещений жүйесі қолданылды. Эксперимент нәтижелері дәлме-дәл басқару фрезерленген беттің орташа квадраттық ауытқуларын азайтуға, құрал-жабдықтардың тозуын, температуралық деформацияларды және шиналардың қысым өзгерістерін өтеуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Бұл жол жабынының тегістігін қамтамасыз етеді, колеяның бүйірлік шығуларын азайтады және жол-көлік оқиғаларының тәуекелін төмендетеді. Қорытындылай келе, ұсынылған дәлме-дәл фрезерлеу әдісі жолдарды жөндеудің сапасын арттыруға тиімді құрал болып табылады. Нәтижелер қазіргі заманғы сандық басқару жүйелеріне енгізу үшін практикалық маңызы бар және технологиялық процестерді әрі қарай оңтайландыру және жол қозғалысының қауіпсіздігін арттыру перспективаларын ашады.

Түйін сөздер: колея, жол фрезасы, дәлме-дәл басқару, цифрлық модель, жол жабыны, жол қауіпсіздігі, фрезерлеу

Дәйексөздер үшін: Н. Камзанов Өзгеретін жол жабындарын жөндеуге арналған автоматты жол кескіш // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 33–44 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.003>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ДОРОЖНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ КОЛЕЙНОСТЬЮ

Н. Камзанов

Satbayev University, Алматы, Казахстан.

E-mail: nuke963@mail.ru

Нурбол Камзанов — PhD, Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: nuke963@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6996-1365>.

© Н. Камзанов

Аннотация. Настоящее исследование посвящено изучению точностного управления фрезерованием колеи на автомобильных дорогах Республики Казахстан. Проблема колееобразования является одной из основных причин возникновения дорожно-транспортных происшествий, что делает актуальным совершенствование технологий ремонта дорожных покрытий. Целью работы является разработка методов управления автоматизированными дорожными фрезами для повышения ровности покрытия, снижения разброса отклонений профиля дороги и повышения безопасности движения. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ существующих технологий фрезерования колеи, изучение методов управления автоматизированными дорожными машинами, разработка цифровой модели дорожного

покрытия и её интеграция с системой обратной связи, проведение экспериментальных испытаний на стенде с дисковыми фрезами. Использовались современные бесконтактные лазерные датчики, системы числового программного управления и корректирующие переменные перемещения фрезы. Результаты экспериментов показали, что применение точностного управления позволяет уменьшить среднеквадратические отклонения фрезерованной поверхности, компенсировать износ инструментов, температурные деформации и колебания давления в пневмошинах. Это обеспечивает высокую ровность дорожного покрытия, минимизацию боковых наплывов колеи и снижение риска возникновения ДТП. В заключение отмечается, что предложенный метод точностного управления фрезерованием колеи является эффективным инструментом повышения качества ремонта автомобильных дорог. Результаты исследования имеют практическое значение для интеграции в современные системы числового программного управления строительными и дорожными машинами, а также открывают перспективы дальнейшей оптимизации технологических процессов и повышения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: колея, дорожная фреза, точностное управление, цифровая модель, дорожное покрытие, безопасность движения, фрезерование.

Для цитирования: Н. Камзанов Автоматизированная дорожная фреза для ремонта дорожных покрытий с переменной колеиностью // Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 33–44. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.003>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Выбор темы исследования обусловлен необходимостью повышения эффективности ремонта дорожных покрытий в условиях переменной колеиности. На протяжении последних десятилетий техника и технологии дорожного строительства в Республике Казахстан значительно модернизировались. Появились новые автоматизированные дорожные машины — автогрейдеры с системами «Профиль», самоходные катки с регулируемой вибрацией и скоростными режимами, мощные отечественные и импортные фрезы, ресайклеры, современные автоматизированные асфальтоукладчики (Козбагаров и др., 2020: 31–36). Вместе с этим появились новые материалы и технологии, обеспечивающие однородность смешения и укладки асфальтобетонных покрытий. Однако требования к параметрам работ, их точности и допустимым отклонениям не всегда пересматриваются с учетом новых возможностей техники, что создает проблему обеспечения ровности дорожного покрытия и безопасности дорожного движения (Кульгильдинов и др., 2020: 207–214; Камзанов, 2021: 87–93).

Актуальность исследования определяется возросшим интересом к совершенствованию конструктивных и технологических параметров автоматизированных дорожных фрез, применяемых для устранения выпоров колеи. Колееобразование на автомобильных дорогах является одной из основных причин увеличения риска дорожно-транспортных происшествий (Козбагаров и др., 2021: 98–105). Несмотря на наличие современных технологий, до сих пор отсутствуют исчерпывающие решения, позволяющие обеспечить точное фрезерование дорожного покрытия с минимальными отклонениями размеров, компенсировать износ режущих элементов и влияние колебаний дорожного основания. Это подтверждает как теоретическую, так и практическую значимость темы исследования.

Объектом исследования является процесс фрезерования дорожного покрытия с переменной колеиностью. Предмет исследования — параметры фрезерования, влияющие на ровность поверхности, точность обработки и эффективность работы

автоматизированной дорожной фрезы.

Цель исследования заключается в разработке методики точного фрезерования дорожного покрытия с переменной колеиностью на основе перехода от силового (упругого) замыкания технологической системы к жесткому (координатному) замыканию.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- проанализировать существующие технологии и конструкции автоматизированных дорожных фрез;
- разработать методику экспериментального исследования процесса фрезерования асфальтобетона;
- провести сравнительные эксперименты с упругим и жестким закреплением образцов;
- построить математические модели зависимости усилия подачи от глубины фрезерования и скорости подачи;
- разработать рекомендации по применению жесткого (координатного) замыкания для повышения точности и снижения разброса размеров фрезерованной поверхности.

Методы исследования включают экспериментальные и имитационные испытания, измерение деформаций и виброакустических колебаний, построение регрессионных моделей, использование системы числового программного управления и обратной связи для корректировки параметров фрезы.

Гипотеза исследования заключается в том, что применение жесткого (координатного) замыкания позволяет снизить средние отклонения и разброс параметров фрезерования, что повышает ровность покрытия и безопасность движения на участках с переменной колеиностью.

Значение исследования заключается в возможности более эффективного проведения работ по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог, обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик и повышении безопасности дорожного движения.

Материалы и методы.

Колееобразование на автомобильных дорогах Республики Казахстан является одной из важнейших причин, приводящих к увеличению риска возникновения дорожно-транспортных происшествий, при этом образующиеся выпоры колеи достигают значительных размеров, как по высоте, так и по ширине (Козбагаров и др., 2021: 98–105).

Одновременно изменились и требования к технологии профилирования дорожных покрытий, в том числе и к техническим средствам для выполнения этих работ, а именно, к автоматизированным дорожным фрезам (Кульгильдинов и др., 2020: 207–214). В этой связи совершенствование конструктивных и технологических параметров автоматизированных дорожных фрез, применяемых для устранения выпоров колеи, является актуальной проблемой и требует разрешения.

В настоящее время при проведении ремонтных работ по устранению колеи на дорожных покрытиях стали применять как временную меру технологию фрезерования выпоров (Козбагаров и др., 2020: 31–36). При фрезеровании выпоров (наплыва) обеспечивается требуемый коэффициент сцепления и ровная поверхность дорожного покрытия. Решается задача точного фрезерования наплывов, боковых бугров рядом с колеей. Технология фрезерования самой колеи не изменяется (Камзанов, 2021: 87–93).

Обычно колея заполняется смесью для ямочного ремонта (катионная эмульсия с мелким щебнем, размер фракции 5–10 мм) либо фрезеруется на заданную глубину без требования точности и заполняется асфальтобетонной смесью с последующим уплотнением (Козбагаров и др., 2019: 31–36). Точное фрезерование необходимо для обеспечения ровности и обеспечения безопасности дорожного движения. Погрешность

фрезерования не должна превышать 1–3 мм/м.

В процессе фрезерования изменяется взаимное положение оси вращения фрезы относительно шасси дорожной фрезы и соответственно дорожного покрытия, осуществляются вертикальное корректирующее перемещение. Расстояние от линии резания до оси вращения фрезы будем называть уровнем размерной настройки, т.е. в процессе фрезерования осуществляется корректирующие переменные перемещения для вертикального положения фрезы (Кульгильдинов и др., 2020: 77–82).

Линия резания лежит на уровне исходной поверхности дорожного покрытия вне колеи (Козбагаров и др., 2020: 31–36), для того чтобы не было риска возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и для соответствия техническим требованиям проекта на ремонт колеи. Наплыв представляет собой массу асфальтобетонной смеси, выдавленной из места колеи вправо или влево, с разными размерно-механическими характеристиками (высота, ширина, плотность, форма, прочность, наличие трещин, выкрашиваний, пористость). Будем считать, что переднее и заднее колеса фрезы едут по ровному участку дороги вне колеи (Камзанов, 2021: 87–93).

В новых СДМ применяется компьютерное управление с приводами и рабочими органами. Кроме этого, можно сделать дополнительные контуры управления независимо от основного компьютера, на базе микроконтроллера или промышленного компьютера (Кульгильдинов и др., 2020: 207–214). Управление приводом вертикальных перемещений будет осуществляться путем сложения сигналов, поступающих от основного компьютера и от контура компенсации отклонений размеров фрезерования. Фреза обычно с конструкцией типа Виртген (ФРГ) рекомендуется использовать с свободно-компоновочными зубьями фрезы в корпусе крепления для уменьшения диффузионного износа (Козбагаров и др., 2020: 31–36). Свободно вращающийся режущий элемент постоянно сдвигается нагретой точкой контактирования в бок, вне зоны контактирования участок фрезы успевает остыть. Поэтому не происходит молекулярного диффузионного обмена, а обычный механический износ значителен для жесткозакрепленных инструментов (Кульгильдинов и др., 2020: 77–82).

Результаты и обсуждение.

Используется бесконтактный лазерный датчик, длина базы 250 мм, с погрешностью 0.5 мм типа БОШ, который представляет собой корпус с оптическим глазком приемо-передающей системы, также имеется микропроцессор и выход на компьютерную технику (Козбагаров и др., 2020: 42–45). В системе управления задается установка для сигнала, получаемого с датчика, разница с которой этого сигнала дает отклонения размеров фрезерования. Используется управление обратной связью с помощью корректирующих переменных превращений уровня размерной настройки фрезы (Кульгильдинов и др., 2020: 77–82). Фактически предлагается перейти от кинематического замыкания по силе к кинематическому замыканию по координате (перемещению или приращениям перемещений фрезы), т.к. это позволяет полностью реализовать возможности системы числового программного управления дорожной фрезой (Камзанов, 2021: 87–93).

Это позволяет уменьшить не только текущую среднюю отклонений фрезерования, но и их разброс (среднеквадратическое отклонение, квадратом которого является дисперсия) (Козбагаров и др., 2020: 31–36). Решается задача обеспечения только ровности; задача обеспечения коэффициента сцепления не ставится и не обсуждается.

Для традиционных конструкций строительно-дорожных машин (СДМ) характерен отбор мощности от главного двигателя или применение дополнительного двигателя (Кульгильдинов и др., 2020: 207–214). В ручном управлении обратную связь реализуют через приспособление машиниста к изменяющимся условиям среды. Ранее

фактически использовалось кинематическое замыкание по силе (по отбору мощности гидро- или пневмодавления или по отбору мощности через вращательные элементы). Этот способ управления СДМ позволял лишь воспроизвести или уменьшить исходные отклонения обрабатываемой поверхности дорожного покрытия при фрезеровании. Если размеры припуска и его плотность наплыва становились больше, то фреза испытывала дополнительные вертикальные нагрузки и отклонялась вверх от линии резания, из-за чего образовывались отклонения размеров сфрезерованной поверхности дорожного покрытия, что увеличивало риск возникновения ДТП (Козбагаров и др., 2019: 31–36). Изменения размера этих наплывов могут быть 1–17 см и отличаться на участке ремонта дороги в 5–10 раз. Соответственно, в разы меняется вертикальная составляющая сила резания, вызванная изменением размерных механических параметров наплыва. Поэтому возникает задача компенсации нежелательных дополнительных вертикальных перемещений фрезы и управления уровнем настройки фрезы в реальном времени (Камзанов, 2021: 87–93).

Используется задание цифровой модели поверхности дорожного покрытия. Как исходная информация для определения уровня размерности настройки фрезы, существующие компоновки фрез предполагают работу режущих элементов фрезы в системе координат фрезы, если взаимодействие происходит через фрезу и колеса или, что более прогрессивно, через фрезу и ролики, катящиеся по дорожному покрытию вне колеи (Козбагаров и др., 2020: 42–45). Второй способ позволяет фрезеровать в системе координат дорожного покрытия и без упругих элементов в виде колес. От СДМ идет только отбор мощности, но это не позволяет компенсировать износ режущих элементов фрезы, ошибки в наладке, температурные деформации. Поэтому сканирующие системы определяют цифровую модель дорожного покрытия вне колеи и производят расчет траектории линий резания. Относительно этой виртуальной линии производится автоматическая или виртуальная наладка инструментов так, чтобы вершины инструментов лежали на расчетной линии (Кульгильдинов и др., 2020: 77–82).

Раньше управление проводилось по мгновенной высоте – среднему значению отклонения фрезерных размеров, а сейчас дополнительно уменьшает разброс отклонений фрезерованной поверхности. Впервые применяется точностное управление фрезерования конкретных элементов автомобильной дороги – устранения наплывов сбоку от колеи, использован принцип управления дорожной фрезой по обратной связи (Камзанов, 2021: 87–93).

При задании закона управления в системе числового программного управления СДМ необходимо задать или определить в реальном времени исходную информацию по среде (Козбагаров и др., 2020: 31–36). Автоматизированные дорожные фрезы широко применяют немеханические кинематические связи (по проводам или радиосигналам) (Козбагаров и др., 2020: 42–45). Раньше использовались зубчатые передачи. Новые виды приводов могут работать с различными видами кинематических замыканий: по скорости, по приращению перемещений, по моменту, по мощности (реализуемой электроэнергией). В работе в качестве основного выбрано управление по приращению перемещений (Камзанов, 2021: 87–93). В немеханических кинематических связях важен принцип управления: управление рассматривается по обратной связи и по возмущениям. Выбрано управление по обратной связи, которое заключается в измерении выходного параметра, определении отклонения фрезерования, умножении на коэффициент подналадки и реализации корректирующего переменного приращения через привод вертикального перемещения фрезы (Козбагаров и др., 2020: 31–36).

Проведены сравнительные имитационные испытания резания асфальтобетонных образцов при упругом и координатном замыкании. При их постановке, реализации и обработке результатов использованы хорошо отработанные и современные методы экспериментальных исследований (А.В. Кочетков, 2021: 54–58). Экспериментальный

стенд был реализован на базе вертикально-фрезерного станка в лаборатории металлорежущих станков Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина. Путем его переналадки ось вращения режущего инструмента была установлена в горизонтальном положении. В качестве модели фрезерного барабана были выбраны типовые дисковые фрезы диаметром 110 и 230 мм (металлорежущий инструмент) (Козбагаров и др., 2020: 42–45). Фотографии разработанного стенда представлены на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. Процедура замера деформаций образца асфальтобетонного покрытия с помощью универсальной магнитной измерительной головки.



Рис. 2. Измерение виброакустических колебаний в процессе резания с помощью виброизмерительной системы (США)

На рисунке 1 показана процедура замера деформаций образца асфальтобетонного покрытия с помощью универсальной магнитной измерительной головки.

На рисунке 2 показано измерение виброакустических колебаний в процессе резания с помощью виброизмерительной системы (США).

Проводились две серии экспериментов с упругим и жестким замыканием. В первом случае между магнитным зажимным приспособлением и столом фрезерного станка помещался резиновый лист толщиной 5 мм.

Во втором случае магнитное зажимное приспособление жестко крепилось на столе фрезерного станка.

Были выбраны дисковая фреза и образец асфальтобетона с неровной поверхностью.

Пример, в реальный момент времени отклонения размера фрезерования состоял 10 мм, умножаем его на коэффициент подналадки равный - 0,5, получаем -5 мм - величину переменного корректирующего приращения и добавляем его к существующему уровню размерной настройки фрезы.

Этим самым компенсируются случайные изменения размерных механических параметров напыла колеи, также компенсируются изменения давления в пневмошинах, компенсируется износ режущих элементов, тепловые температурные деформации рабочего органа и самой СДМ, компенсируются изменения массовых характеристик фрезы. Фактически компенсируется детерминированная (линейная) и периодическая (коррелирующая) составляющая последовательности отклонения фрезерования. Случайной составляющей управлять нельзя (Козбагаров и др., 2020: 42–45).

Проведены сравнительные имитационные испытания резания асфальтобетонных образцов при упругом и координатном замыкании.

Разработаны методика исследования основных параметров фрезерования. Исследования были направлены на определение зависимости между глубиной фрезерования (h) и скоростью подачи диска (V) на сопротивление подачи (W_0). Эксперименты были проведены на специально изготовленном стенде (рисунок 3).

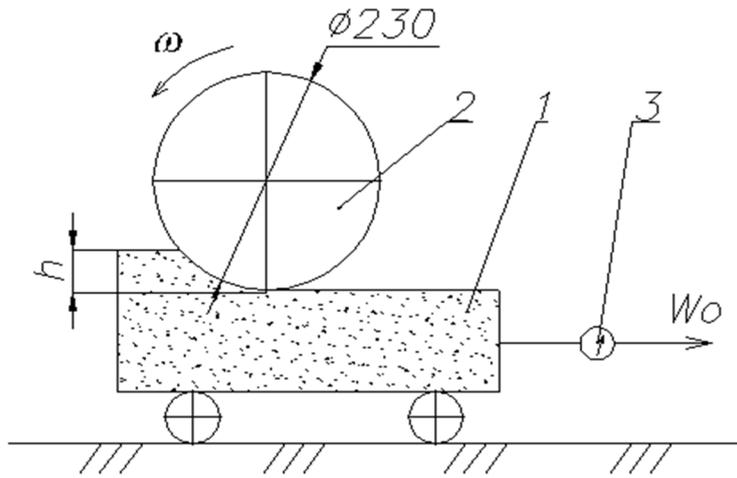


Рис. 3. Схема экспериментального стенда для определения основных параметров фрезерования

1-тележка с образцом асфальтобетона, 2-алмазный диск, 3-динамометр

В качестве константы в экспериментах была взята частота вращения диска, которая обеспечивала линейную скорость резания до 50 м/с. При этом скорость подачи алмазного диска изменялась от 1,8 м/мин до 3 м/мин, а глубина фрезерования h – от 10 до 60 мм. Эксперименты выполнялись с 3-х кратной повторностью в соответствии с разработанным планом факторного эксперимента представленном в таблице 1 с результатами опытов.

Таблица - План и результаты экспериментов

№	План в натуральных переменных		Усилие подачи W_0 (кН)	Остаточные деформации	
	h , мм	V , м/с			
1	10	0,03	3,8	1,8	1,6
2	60	0,03	20,6	2,8	2,4
3	10	0,05	4,2	2,0	1,7
4	60	0,05	22,7	2,1	1,5
5	7,68	0,04	2,6	1,7	2,4
6	77,68	0,04	26,2	2,8	4,6
7	35	0,023	11,2	2,1	3,0
8	35	0,047	13,1	2,2	3,1
9	35	0,04	11,7	2,6	3,1
10-13	35	0,04	12,0	2,7	3,3

Научным результатом является регистрация факта увеличения разброса остаточных деформаций резания (погрешностей) в сравнении жесткого и упругого силовых замыканий.

После обработки результатов эксперимента были получены математические зависимости (усилия подачи W_0 от глубины фрезерования h и скорости подачи V)

$$W_0 = 0,35h + 0,1hV. \quad (1)$$

На основе зависимости (1) было определено среднее значение сопротивления фрезерования q_0 как

$$q_0 = W_0/hB, \quad (2)$$

где B – ширина фрезерования.

Значения q_0 составляет 60-80 кПа и может использоваться для определения

мощности привода N

$$N = 0,5q_0 hBD\omega, \quad (3)$$

где D – диаметр диска, ω - угловая скорость вращения диска.

Экспериментальный стенд реализован на базе горизонтально-фрезерного станка 6М82Г. При этом ставилась задача воспроизвести процесс взаимодействия фрезерного инструмента и асфальтобетона наиболее близко к реальному (Кочетков, 2015: 78–82).

В качестве модели барабана дорожной фрезы была выбрана сборная фреза соотношением диаметра и ширины аналогичная рабочим органам существующих машин. Фреза собиралась из типового металлорежущего инструмента, с учётом особенностей обработки асфальтобетона, были выбраны диски с большим зубом для воспроизведения эффекта выкрашивания (выламывания), а не резания образца.

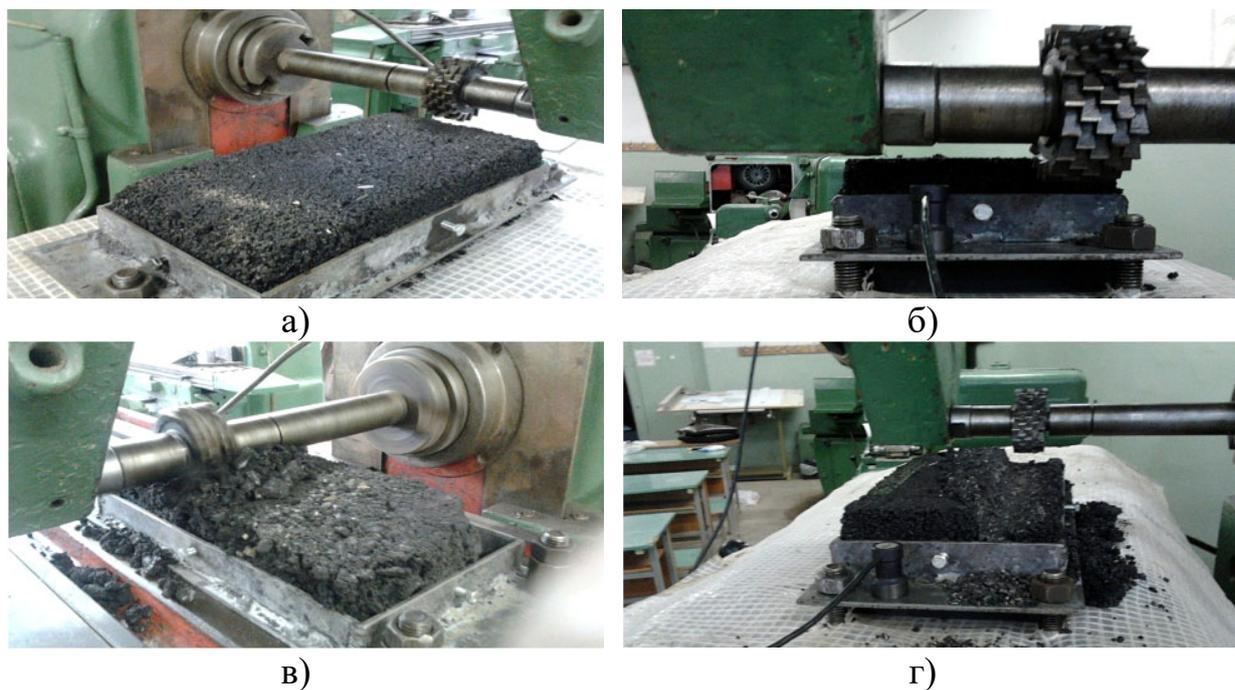


Рис. 4. Эксперимент по имитационному фрезерованию асфальтобетонных образцов

Проводились две серии экспериментов с упругим и жестким замыканием.

Фрезерование производилась навстречу обрабатываемой поверхности (против подачи). Исследовались два режима:

- с упругим элементом (резиновое основание толщиной 20 мм) (рисунок 4 а, б) – имитация фрезерования по силовому замыканию. Закрепление образца происходило на специально разработанном экспериментальном столе установленном на станину через упругий элемент. В этом случае наблюдался повышенный разброс отклонений параметров фрезерования и повышение средней высоты профиля отфрезерованной поверхности.

- в случае, когда образец с асфальтобетоном закреплялся жестко (рисунок 4 в, г) – имитация координатного замыкания, наблюдались уменьшение разброса отклонении размеров фрезерования, по приближенным оценкам, в 2 раза.

Это подтверждает эффективность перехода от замыкания по силе к координатному замыканию или управлению по перемещению.

Фотографии части экспериментов представлены на рисунке 4.

Вне плана эксперимента было проведено фрезерование асфальтобетонного образца по силовому замыканию с использованием в качестве упругих элементов пружин переменной жёсткости, имитирующих различную жёсткость системы ФИП. Наблюдение

показало, что влияние жёсткости системы ФИП на отклонение профиля фрезерования не линейно и нарастает лавинообразно с уменьшением жёсткости системы (повышением её упругости).

Возможно использование разработанных алгоритмов адаптивных знаковых и пропорциональных подналадок. В результате моделирования по исходной выборке было получено уменьшение среднего значения отфрезерованной поверхности выпоров на 20 % при использовании знаковых пульсирующих подналадок переменным импульсом. Сравнение результатов фрезерования асфальтобетонного покрытия с применением дорожных фрез для упругого (силового) и жесткого (координатного) замыкания (рисунок 5).

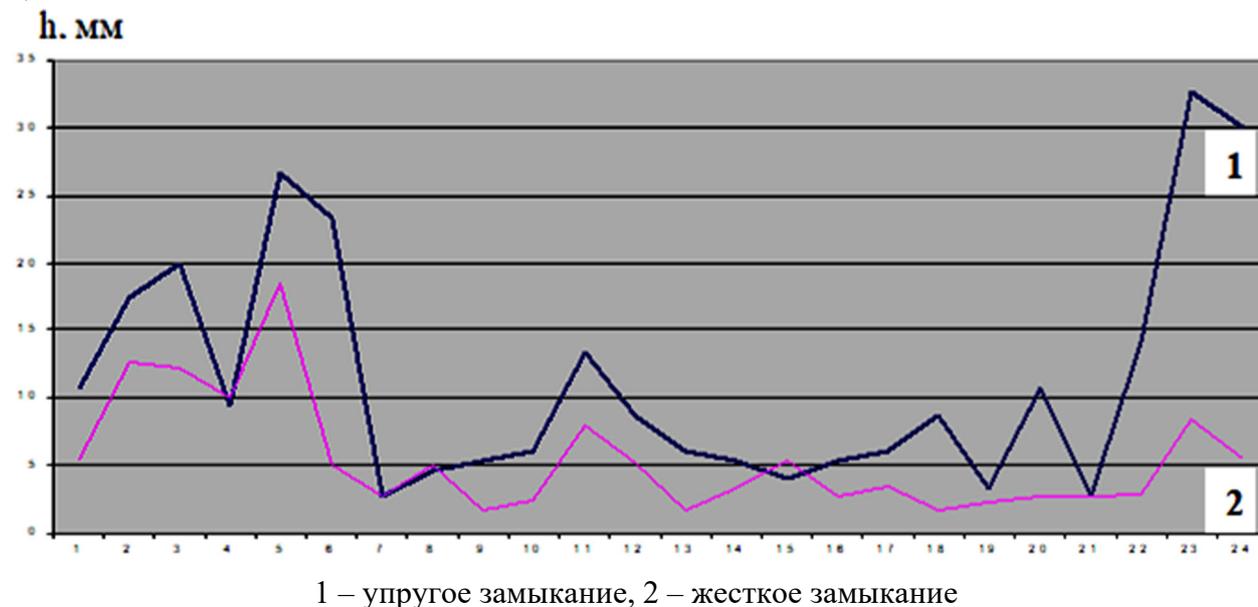


Рис. 5. Сравнение результатов фрезерования дорожного покрытия с применением дорожных фрез

Разработана технологическая схема фрезерования выпоров колеи дорожного покрытия, подтверждена эффективность жесткого (координатного) замыкания технологической схемы фрезерования по сравнению с упругим (силовым) методом.

Использование результатов работы позволит более эффективно проводить работы по строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог, обеспечить требуемые транспортно - эксплуатационные характеристики, сохранность автомобильных дорог и безопасность дорожного движения.

Заключение.

В результате проведённого исследования были реализованы цели и задачи, поставленные в работе, с использованием комплексного подхода, включающего теоретическое обоснование, численное моделирование, экспериментальные испытания и анализ результатов работы автоматизированных дорожных фрез. Основной целью исследования было разработать и обосновать методику точностного управления фрезерованием колеи на автомобильных дорогах Республики Казахстан для повышения ровности дорожного покрытия, обеспечения безопасности дорожного движения и снижения вероятности дорожно-транспортных происшествий.

Для достижения поставленных целей использовались современные методы: бесконтактные лазерные датчики с высокой точностью измерения, системы обратной связи с корректирующими переменными перемещениями фрезы, цифровое моделирование поверхности дорожного покрытия и экспериментальные испытания на стенде с дисковыми фрезами диаметром 110 и 230 мм. Такой комплексный подход позволил максимально точно

воспроизвести реальные условия взаимодействия режущих элементов с асфальтобетоном и оценить влияние факторов, которые ранее не учитывались в традиционных конструкциях строительных и дорожных машин. Среди таких факторов – износ режущих инструментов, температурные деформации рабочих органов и СДМ, изменения механических параметров наплывов колеи, а также колебания давления в пневмошинах.

Экспериментальные результаты показали, что применение управления по приращению перемещений фрезы, а также использование цифровых моделей дорожного покрытия позволяют существенно снизить среднеквадратические отклонения фрезерованной поверхности, уменьшить разброс погрешностей и обеспечить точное соблюдение профиля дорожного покрытия. При этом компенсируются детерминированные и периодические составляющие отклонений, повышается точность профилирования, обеспечивается ровность поверхности и, как следствие, повышается безопасность движения. Фактически впервые применён принцип точностного управления фрезерованием конкретных элементов автомобильной дороги, включая устранение боковых наплывов колеи, что значительно расширяет возможности автоматизированных дорожных машин.

Выводы исследования подтверждают истинность выдвинутого автором тезиса о необходимости применения точностного управления фрезерованием и показывают, что предложенный подход позволяет улучшить качество ремонта дорожного покрытия, уменьшить износ инструментов и повысить экономическую эффективность ремонтных работ. Практическое значение результатов заключается в возможности интеграции разработанных методов управления в современные системы числового программного управления (ЧПУ) СДМ, что открывает перспективы для стандартизации технологических процессов профилирования и ремонта колеи на автомобильных дорогах.

Перспективы дальнейших исследований включают совершенствование алгоритмов управления с учётом различных климатических, эксплуатационных и конструктивных факторов, разработку методов прогнозирования износа режущих инструментов и оптимизацию параметров работы фрез для различных типов дорожных покрытий. Также возможно расширение области применения полученных результатов на реконструкцию и модернизацию существующих дорожных машин, создание автоматизированных систем мониторинга состояния дорожного покрытия и повышение надёжности и безопасности транспортной инфраструктуры в целом.

Таким образом, проведённое исследование не только подтверждает практическую и теоретическую значимость точностного управления фрезерованием колеи, но и вносит вклад в развитие науки о строительстве и эксплуатации автомобильных дорог, создавая основу для дальнейшего совершенствования технологий ремонта дорожных покрытий и повышения безопасности движения на территории Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

Kozbagarov, 2020 — R.A. Kozbagarov, K.A. Zhussupov, E.B. Kaliyev, M.N. Yessengaliyev, A.V. Kochetkov, N.S. Kamzanov. Development of control suspension of attachment of a bulldozer // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Volume 4, Number 442. — 2020. — P. 166–174. [Eng.]

Kulgildinov, 2019 — M.S.Kulgildinov, R.A. Kozbagarov, A.U. Dauletkulova, N.S.Kamzanov. Improvement of parameters of road mills for repair works on elimination of ruts on road surfaces // The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. — The Kingdom of Belgium. — 2019. — №11. — P. 31–36. [Eng.]

Kozbagarov, 2021 — R.A. Kozbagarov, M.V. Taran, K.A. Zhussupov, A.E. Kanazhanov, N.S. Kamzanov, A.V. Kochetkov. Increasing the efficiency of motor graders work on the basis of working elements perfection // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Volume 1, Number 445. — 2021. — P. 98–105. [Eng.]

Kozbagarov, 2021a — R.A. Kozbagarov, N.S. Kamzanov, Sh.D. Akhmetova, K.A. Zhussupov, Zh. Kh. Dainova. Improving the methods of milling gauge on highways // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Volume 3, Number 447. — 2021. — P. 87–93. [Eng.]

Кульгильдинов, 2020 — Кульгильдинов М.С., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Аналитический обзор методов фрезерования колеи дорожного покрытия и ее выпоров // Вестник КазАТК (специальный выпуск). — Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. — 2020. — Том 1. — С. 77–82. [Russ.]

Кульгильдинов, 2020b — Кульгильдинов М.С., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Пути совершенствования технологии и алгоритмов автоматического управления фрезерованием колеи // Вестник КазАТК (специальный выпуск). — Том 1. — Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. — 2020. — С. 207–214. [Russ.]

Кульгильдинов, 2020c — Кульгильдинов М.С., Кочетков А.В., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Жол фрезасының жұмыс органының координаттық тұйықталуы кезінде фрезерлеу процесін эксперименттік зерттеу // Материалы XLIV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика». — Алматы: КазАТК. — 17.04.2020. — С. 100–103. [Kaz.]

Жунусов, 2021 — Жунусов Б. Жол фрезалау технологиясын жетілдіру // Қазақстан жолдары. — 2021. — № 7. — С. 45–50. [Kaz.]

Иванов, 2019 — Иванов П.А. Modern methods of asphalt milling and road maintenance. — Moscow: Transport Publishing. — 2019. — 184 с. [Eng.]

Сергеев, Ковалев, 2020 — Сергеев В.В., Ковалев А.М. Автоматизация дорожных машин: теория и практика // Машиностроение. — 2020. — № 12. — С. 65–73. [Russ.]

REFERENCES

Kozbagarov, 2020 – Kozbagarov, R.A., Zhussupov, K.A., Kaliyev, E.B., Yessengaliyev, M.N., Kochetkov, A.V., Kamzanov, N.C. (2020). Development of control suspension of attachment of a bulldozer // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Vol. 4, №442. — P.166–174. [in Eng.]

Kulgildinov, 2019 – Kulgildinov, M.S., Kozbagarov, R.A., Dauletkulova, A.U., Kamzanov, N.S. (2019). Improvement of parameters of road mills for repair works on elimination of ruts on road surfaces // The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. — Kingdom of Belgium. — №11. — P.31–36. [in Eng.]

Kozbagarov, 2021 – Kozbagarov, R.A., Taran, M.V., Zhussupov, K.A., Kanazhanov, A.E., Kamzanov, N.S., Kochetkov, A.V. (2021). Increasing the efficiency of motor graders work on the basis of working elements perfection // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Vol.1, №445. — P.98–105. [in Eng.]

Kozbagarov, 2021a – Kozbagarov, R.A., Kamzanov, N.S., Akhmetova, Sh.D., Zhussupov, K.A., Dainova, Zh.Kh. (2021). Improving the methods of milling gauge on highways // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. — Vol.3, №447. — P.87–93. [in Eng.]

Kulgildinov, 2020 – Kulgildinov, M.S., Kamzanov, N.S., Begimkulova, E.A. (2020). Analiticheskiy obzor metodov frezerovaniya kolei dorozhnogo pokrytiya i ee vyporov [Analytical review of methods of milling road rut and its defects] // Vestnik KazATK (special issue). — Almaty: Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshepaev. — Vol.1. — P.77–82. [in Russ.]

Kulgildinov, 2020b – Kulgildinov, M.S., Kamzanov, N.S., Begimkulova, E.A. (2020). Puti sovershenstvovaniya tekhnologii i algoritmov avtomaticheskogo upravleniya frezerovaniem kolei [Ways to improve technology and algorithms of automatic rut milling control] // Vestnik KazATK (special issue). — Vol.1. — Almaty: Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshepaev. — P.207–214. [in Russ.]

Kulgildinov, 2020c – Kulgildinov, M.S., Kochetkov, A.V., Kamzanov, N.S., Begimkulova, E.A. (2020). Zhol frezasynyn zhymys organynyn koordinattik tuykhtaluy kezinde frezerleu protsesin eksperimentalnyi zertteu [Experimental study of milling process during coordinate closure of road milling machine working body] // Materials of XLIV International Scientific-Practical Conference “Innovative Technologies in Transport: Education, Science, Practice”. — Almaty: KazATK. — 17.04.2020. — P.100–103. [in Kaz.]

Zhunusov, 2021 – Zhunusov, B. (2021). Zhol frezalau tekhnologiyasyn zhetildiru [Improvement of road milling technology] // Qazaqstan zholdary. — 2021. — №7. — P.45–50. [in Kaz.]

Ivanov, 2019 – Ivanov, P.A. (2019). Modern methods of asphalt milling and road maintenance. — Moscow: Transport Publishing. — 184 p. [in Eng.]

Sergeev, Kovalev, 2020 – Sergeev, V.V., Kovalev, A.M. (2020). Avtomatizatsiya dorozhnykh mashin: teoriya i praktika [Automation of road machines: theory and practice] // Mashinostroenie. — 2020. — №12. — P.65–73. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 45–55
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.004>
УДК 621.892.09

IMPROVING THE OPERATIONAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MEANS BY ELECTROPHYSICAL METHODS

V. Perevertov¹, G. Afanasyev², M. Abulkasimov^{2}, M. Akaeva³*

¹Samara State Transport University, Samara, Russia;

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia;

³International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: abilkk@mail.ru

Valeriy Perevertov — candidate of Technical Sciences, Samara State University of Railways and Communications, Samara, Russian Federation

E-mail: prkom@samgups.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

Gennady Afanasev — candidate of Technical Sciences, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

E-mail: afanasyev-g@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

Manas Abulkasimov — candidate of Technical Sciences, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, Moscow, Russian Federation

E-mail: abilkk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

Madina Akayeva — candidate of Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: akaeva.madina@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© V. Perevertov, G. Afanasev, M. Abulkasimov, M. Akayeva

Abstract. Improving the performance properties of transmission oils is a relevant task in the modern transport and mechanical engineering industry, as the efficiency of ground transport and technological equipment (GTT) directly depends on the durability and reliability of its transmissions. In the context of growing requirements for resource saving and reduction of maintenance costs, the development of methods to enhance oils has both practical and scientific significance. The aim of the study is to investigate the influence of gamma radiation and ultrasound on the physicochemical and operational properties of transmission oils in order to improve their anti-wear and anti-friction characteristics. Research objectives include: analysis of existing methods for improving the operational properties of transmission oils; determination of optimal modes of gamma irradiation and ultrasonic treatment; investigation of changes in viscosity, corrosion resistance, impurity dispersion, and anti-friction properties of oils; comparative assessment of the effectiveness of different treatment methods. Results showed that gamma irradiation with a dose of 6000 rad for 30 minutes and ultrasonic treatment of TM 1-18 (TEp-15) oil for one hour at a frequency of 20 kHz significantly improved the anti-wear properties of oils. The wear scar diameter decreased, and the critical load and welding load increased by 10–15% compared to commercial oils. The optimal treatment modes maintain effectiveness at operating temperatures of transmission units (60–80°C) and ensure the stability of oil properties during long-term storage. The study confirmed that modern physicochemical methods of oil treatment can significantly enhance the operational properties of transmission fluids, increase the service life of

transmission parts, and reduce mechanical wear. The results can be applied for developing industrial technologies to improve oils and increase the reliability of GTT.

Keywords: transmission oils, anti-wear properties, ultrasonic treatment, gamma radiation, oil film, durability, GTT

For citation: V. Perevertov, G. Afanasev, M. Abulkasimov, M. Akayeva Improving the operational properties of transmission oils of ground transport and technological means by electrophysical methods // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 45–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.004>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖЕРДЕГІ КӨЛІК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫҢ ТРАНСМИССИЯЛЫҚ МАЙЛАРЫНЫҢ ПАЙДАЛАНУ ҚАСИЕТТЕРІН ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРМЕН ЖАҚСARTУ

В. Перевертов¹, Г. Афанасьев², М. Абулкасимов^{2}, М. Акаева³*

¹Самара мемлекеттік жол және қатынас университеті, Самара, Ресей Федерациясы;

²Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы;

³Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: abilkk@mail.ru

Валерий Перевертов — т.ғ.к., Самара мемлекеттік жол және қатынас университеті, Самара, Ресей Федерациясы

E-mail: prkom@samgups.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

Геннадий Афанасьев — т.ғ.к., Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

E-mail: afanasyev-g@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

М. Абулкасимов — т.ғ.к., Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы, abilkk@mail.ru

E-mail: abilkk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

Мадина Акаева — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: akaeva.madina@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева

Аннотация. Трансмиссия майларының эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту қазіргі замандағы көлік және машина жасау саласы үшін өзекті мәселе болып табылады, себебі жерүсті транспорттық-технологиялық құралдардың (ЖТҚ) тиімділігі олардың берік және сенімді трансмиссиясына тікелей байланысты. Ресурстарды үнемдеу және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайту талаптарының артуы жағдайында майлардың қасиеттерін жақсарту әдістерін әзірлеу практикалық және ғылыми маңызы бар. Зерттеудің мақсаты – гамма сәулеленуі және ультрадыбыстық әсерінің трансмиссия майларының физика-химиялық және эксплуатациялық қасиеттеріне әсерін зерттеу арқылы олардың тозуға және үйкеліске қарсы қасиеттерін арттыру. Зерттеу міндеттері: трансмиссия майларының эксплуатациялық қасиеттерін жақсарту әдістерін талдау; гамма сәулеленуі және ультрадыбыстық өңдеудің оңтайлы режимдерін анықтау; майлардың тұтқырлығы, коррозияға төзімділігі, қоспалардың дисперстілігі және үйкеліс қасиеттеріндегі өзгерістерді зерттеу; әртүрлі өңдеу әдістерінің тиімділігін салыстырмалы бағалау. Нәтижелер көрсеткендей, 6000 рад дозасымен 30 минут гамма сәулеленуі және ТМ 1-18 (ТЭп-15) майының 20 кГц жиілікте бір сағаттық ультрадыбыстық өңдеуі майлардың тозуға

қарсы қасиеттерін айтарлықтай жақсартты. Үлгілердің тозу дағы азайды, критикалық жүктеме мен дәнекерлеу жүктемесі 10–15% артты. Оңтайлы өңдеу режимдері трансмиссияның жұмыс температуралары (60–80°C) кезінде тиімділікті сақтап, май қасиеттерінің ұзақ уақыт тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Зерттеу көрсеткендей, қазіргі заманғы физика-химиялық май өңдеу әдістері трансмиссия сұйықтықтарының эксплуатациялық қасиеттерін айтарлықтай жақсартып алады, трансмиссия бөлшектерінің қызмет мерзімін ұзартады және механизмдердің тозуын азайтады. Нәтижелер өнеркәсіптік май өңдеу технологияларын әзірлеуде және ЖТҚ сенімділігін арттыруда қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: трансмиссия майлары, тозуға қарсы қасиеттер, ультрадыбыстық өңдеу, гамма сәулелену, май пленкасы, ұзақ мерзімділік, ЖТҚ

Дәйексөздер үшін: В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева Жердегі көлік-технологиялық құралдардың трансмиссиялық майларының пайдалану қасиеттерін электрофизикалық әдістермен жақсарту // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 45–55 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.004>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В. Перевертов¹, Г. Афанасьев², М. Абулкасимов^{2}, М. Акаева³*

¹Самарский государственный университет путей и сообщения, Самара, Россия;

²Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва Россия;

³Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: abilkk@mail.ru

Валерий Перевертов — кандидат технических наук, Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Российская Федерация

E-mail: prkom@samgups.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7115-8093>;

Геннадий Афанасьев — кандидат технических наук, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

E-mail: afanasyev-g@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1896-1315>;

Манас Абулкасимов — кандидат технических наук, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

E-mail: abilkk@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7358-661X>;

Мадина Акаева — кандидат технических наук, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: akaeva.madina@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-2866-7831>.

© В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева

Аннотация. Повышение эксплуатационных свойств трансмиссионных масел является актуальной задачей современной транспортной и машиностроительной отрасли, поскольку эффективность работы наземных транспортно-технологических средств (НТТС) напрямую зависит от долговечности и надежности их трансмиссий. В условиях растущих требований к ресурсосбережению и снижению затрат на техническое обслуживание разработка методов улучшения масел имеет важное практическое и научное значение. Целью исследования является изучение влияния гамма-излучения и ультразвука на физико-

химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел с целью повышения их противоизносных и антифрикционных характеристик. Задачи исследования включают: анализ существующих методов улучшения эксплуатационных свойств трансмиссионных масел; определение оптимальных режимов гамма-облучения и ультразвуковой обработки; исследование изменений вязкости, коррозионных свойств, дисперсности примесей и антифрикционных характеристик масел; сравнительная оценка эффективности различных методов обработки. Результаты показали, что гамма-облучение дозой 6000 рад при времени 30 минут и ультразвуковая обработка масла ТМ 1-18 (ТЭп-15) в течение одного часа при частоте 20 кГц значительно улучшают противоизносные свойства масел. Диаметр пятна износа уменьшался, критическая нагрузка и нагрузка сваривания повышались на 10–15% по сравнению с товарными маслами. Оптимальные режимы обработки сохраняют эффективность при рабочих температурах узлов трансмиссии (60–80°C) и обеспечивают стабильность свойств масла при длительном хранении. Проведённые исследования подтвердили, что современные методы физико-химической обработки масел способны существенно повысить эксплуатационные характеристики трансмиссионных жидкостей, увеличить ресурс деталей трансмиссии и снизить износ механизмов. Полученные результаты могут быть применены для разработки промышленных технологий улучшения масел и повышения надёжности НТТС.

Ключевые слова: трансмиссионные масла, противоизносные свойства, ультразвуковая обработка, гамма-излучение, масляная пленка, долговечность, НТТС

Для цитирования: В. Перевертов, Г. Афанасьев, М. Абулкасимов, М. Акаева Улучшение эксплуатационных свойств трансмиссионных масел наземных транспортно-технологических средств электрофизическими методами // Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 45–55. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.004>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Повышение надёжности наземных транспортно-технологических средств (НТТС) остаётся одной из ключевых задач современной промышленности и транспортной отрасли, поскольку эффективность эксплуатации технических комплексов напрямую зависит от долговечности и работоспособности механизмов. В условиях современных требований к ресурсу машин, необходимости снижения затрат на техническое обслуживание и увеличения производственной отдачи, проблема увеличения эксплуатационных свойств смазочных материалов приобретает особую актуальность (Жданов, 2014: 160–170; Жосан, 2018: 75–79; Назарова, 2019: 34–41; Перевертов, 2020: 54–63).

Обоснование выбора темы связано с тем, что несмотря на существующие исследования в области оптимизации свойств трансмиссионных масел, многие вопросы остаются недостаточно изученными, особенно в аспекте применения современных методов улучшения эксплуатационных характеристик, таких как воздействие ионизирующего излучения и ультразвука. Анализ литературы показывает, что традиционные методы, основанные на подборе оптимальной вязкости и добавлении присадок, не позволяют полностью реализовать потенциал повышения долговечности деталей без изменения конструкции машин. Новые подходы, включая гамма-облучение и ультразвуковую обработку, открывают возможности для значительного улучшения противоизносных и антифрикционных свойств масел без изменения конструкции механизмов (Перевертов, 2020: 54–63).

Актуальность исследования определяется практической необходимостью увеличения ресурса механических трансмиссий до полного срока службы, снижением износа деталей и повышением эффективности НТТС. Научная значимость работы заключается в изучении физико-химических и эксплуатационных изменений масел под

воздействием внешних факторов, а также в разработке критериев оценки их эффективности, включая толщину масляной пленки, диаметр пятна износа и суммарный угол закручивания валов.

Объект исследования – трансмиссионные масла марки ТМ 1-18 (ТЭп-15) для НТТС. Предмет исследования – физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел, изменяемые под воздействием гамма-излучения и ультразвука.

Цель работы – изучение влияния ионизирующего излучения и ультразвука на эксплуатационные свойства трансмиссионных масел с целью повышения их противоизносных и антифрикционных характеристик.

Задачи исследования:

- провести анализ существующих методов улучшения свойств трансмиссионных масел;
- определить оптимальные режимы воздействия гамма-излучения и ультразвука на масла;
- исследовать изменения физико-химических показателей и эксплуатационных свойств масел;
- сравнить эффективность различных способов обработки масла и выявить их влияние на долговечность трансмиссий НТТС.

Методы исследования включают лабораторные испытания на четырехшариковой машине трения, анализ вязкостно-температурных свойств, коррозионных и дисперсионных характеристик масла, а также применение методов гамма-облучения и ультразвуковой обработки.

Гипотеза работы состоит в том, что применение ионизирующего излучения и ультразвука способствует существенному улучшению эксплуатационных свойств трансмиссионных масел, что позволит повысить ресурс и надёжность НТТС без изменения конструкции деталей.

Практическое значение исследования заключается в возможности внедрения разработанных методов для повышения долговечности трансмиссионных систем, снижения затрат на техническое обслуживание и увеличения производительности наземного транспортно-технологического оборудования.

Материалы и методы.

Настоящая работа предусматривает изучение путей повышения качества трансмиссионных масел с применением современных методов улучшения их эксплуатационных свойств. Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств минеральных масел обещает стать воздействие на них ионизирующих излучений, прежде всего гамма-излучения.

Задачами лабораторных и стендовых исследований является определение режимов и интенсивности обработки товарного трансмиссионного масла.

Целью представленной работы является - изучение изменения физико-химических и эксплуатационных свойств трансмиссионных масел воздействием ионизирующего излучения и ультразвука (метод озвучивания), направленных на улучшение их качества и повышение долговечности трансмиссий НТТС.

Теоретическим обоснованием применения метода по улучшению эксплуатационных свойств трансмиссионных масел является анализ процессов, протекающих при трении двух поверхностей в среде масла, которые можно разделить на две группы: 1- взаимодействие молекул масла и его компонентов с поверхностью трущихся тел, которое приводит к изменению, модификации поверхности; 2- изменение природы самой среды, в которой взаимодействуют данные тела (Жданов, 2014: 160–170; Жосан, 2018: 75–79; Назарова, 2019: 34–41; Перевертов, 2020: 54–63).

Показателями эффективности выбранных методов по улучшению эксплуатационных свойств товарных масел могут служить толщина масляной пленки (δ),

противоизносные свойства масла по диаметру пятна износа на четырехшариковой машине трения (D_i), как лабораторные методы оценки, и эксплуатационные методы оценки изнашивания деталей трансмиссии по изменению суммарного угла закручивания валов (α) и концентрации "железа в масле" (F). Способность масел образовывать масляную прослойку между поверхностями трения является одним из важнейших эксплуатационных свойств, определяющих износ деталей. Следовательно, масляная пленка может служить важным критерием, характеризующим противоизносные свойства масла.

Таким образом, основными критериями в оценке смазывающей способности композиций масел были приняты: диаметр пятна износа, критическая нагрузка и нагрузка сваривания.

Результаты и обсуждения

Перспективным способом улучшения эксплуатационных свойств минеральных масел обещает стать воздействие на них ионизирующих излучений, прежде всего гамма-излучения.

Гамма-излучения Co^{60} относятся к электромагнитным излучениям с энергией 1,25 МэВ. которые, в отличие от заряженных частиц, не имеют ярко выраженного пробега в веществе и полностью поглощаются им одним акте взаимодействия. Под воздействием гамма-облучения происходят сложные процессы, (реакции присоединения, замещения, радикалов к ненасыщенной молекуле, полимеризации, деструкции, синтез, разложение, окисление, восстановление и др.). При протекании ионизирующих процессов в маслах происходит изменение структуры молекул, в которых увеличивается содержание полярно-активных соединений, которые и улучшают, в значительной степени, его смазывающую способность и эксплуатационные свойства. Протекание процессов осуществляется за время, которое близко к нулю и зависит от внешних факторов, условий, строения продуктов, от передачи и дозы энергии, присадок и различных добавок, влажности, температуры, топографии и т.п.

Сведения, собранные в настоящее время, по радиационной химии минеральных масел не позволяют теоретически обосновать процесс протекания радиационно-химической реакции, в следствии многофакторности. Таким образом, структура изменения масел может быть сформирована по отдельным процессам, происходящим в индивидуальных органических соединениях (маслах).

Методика облучения трансмиссионных масел. Изменение физико-химических показателей трансмиссионного товарного масла ТМ 1-18 (ТЭп-15) производилось при его облучении на гамма-установке "Флора-М".

Гамма-установка размещена на специально оборудованной территории. Источник гамма-излучения Co^{60} состоит из кобальтовых стержней, установленных в водном каньоне на пятиметровой глубине, что создает полную безопасность для подобного рода установок.

Можно принять, что мощность дозы при малых сроках облучения постоянна по времени и, следовательно, иницирующая доза составляет

$$D=P(t_2 - t_1),$$

T_2 - время окончания облучения;

T_1 - время начала облучения;

P - мощность дозы.

Облучение масла производилось дозами 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 10,0; 102; 103 и 104 крад. Дозы гамма-излучения более 10^4 крад. не применялись, так как повышенное облучение оказывает незначительно влияние на вязкость масла (3).

Образцы трансмиссионного масла заливались в стеклянные банки с притертыми пробками емкостью 0,5 дм³. Стеклянные банки помещались в стальную герметически закрывающуюся камеру, которая опускалась в поле облучения гамма-установки. Температура в зоне облучения составляла 291...293°К.

Гамма-излучение в указанных дозах обеспечивает полную безвредность облученного масла для окружающего персонала. Масло после облучения может быть использовано непосредственно по своему прямому назначению.

Одновременно были проведены исследования различных композиций облученного масла товарного трансмиссионного масла ТМ 1-18 (ТЭп-15). Масло облучалось дозами в интервале от 1000 до 10^7 рад, время облучения изменяли в диапазоне от 5,5 мин. до 4 суток.

Исследования показали, что оптимальное время облучения составляет 30 мин., а доза облучения - 6000 рад. При этом диаметр износа шариков снизился с 0,290 до 0,280 мм (температура масла 60°C). Аналогичные данные получены и при температуре 80°C. Осевая нагрузка во время испытания составляла 150Н, продолжительность испытания 20 мин. С увеличением осевой нагрузки наблюдалось пропорциональное увеличение износа шариков при всех композициях облученного масла. Критическая нагрузка РК и нагрузка сваривания РС возрастают у облученных масел по сравнению с товарным. При этом следует отметить, что с переходом к нагрузкам выше критических эффект облучения снижается. Разница между нагрузками сваривания облученного и товарного масел составила 300Н. Итак, в области умеренных нагрузок облученные масла существенно повышают противоизносные свойства по сравнению с товарными маслами.

Использование ультразвуковых (УЗ) технологий является одним из подходов по решению традиционных и реализации новых процессов в жидких и жидкодисперсных средах. Сущность ультразвуковой обработки жидкостей заключается в том, что в результате непосредственного введения в них звуковых колебаний появляются кавитационные пузырьки, которые накапливают энергию при расширении и взрываются (схлопываются) при переходе в область высокого давления. При этом возникают мощные гидродинамические возмущения в виде микроударных волн, микропотоков и коммулятивных струй, которые используют для получения мелкодисперсных эмульсий, несмешивающихся жидкостей, возбуждения, ускорения химических реакций. На практике УЗ технологии (растворение, экстрагирование, диспергирование, эмульгирование нашли большое применение в маловязких, с малым содержанием твердых фракций средах (вода, органические растворители и т.п.), так как процессы в таких средах протекают с малым затуханием колебаний и позволяют создать развитую кавитацию при минимальных затратах энергии.

В последние годы все большее значение приобретают УЗ технологии в жидких средах, которые обладают аномально высоким затуханием колебаний и высокой вязкостью (глицерин, масла, краски), в дисперсных системах (эмульсии, суспензии) и высокомолекулярных средах (смола, полимеры, нефти и их производные). Внедрение УЗ технологий в вышеперечисленных средах происходит недостаточно эффективно, так как отсутствует теоретическое и экспериментальное обоснование применения режимов развитой кавитации в разнообразных вязких и дисперсных жидких средах. Задача повышения эффективности процессов химических технологий в вязких и высокодисперсных жидких средах за счет ультразвукового воздействия будет зависеть от многих факторов, как и при гамма - облучении, и основываться на результатах проведенных испытаний.

Методика озвучивания трансмиссионных масел. Обработка трансмиссионных масел ТМ 1-18 ультразвуком выполнялась на установке УЗГ-10У в лаборатории. В ванну заливалось по 3дм³ масла. Продолжительность ультразвуковой обработки составляла 20, 40, 60, 100 и 120 минут при частоте излучаемых колебаний 20кГц. Предварительный подогрев масла не производился. В процессе обработки температура масла поддерживалась 353...363°К. Озвученное масло сливалось в стеклянные банки с притертыми пробками.

Оценка влияния ультразвука на вязкостно-температурные свойства масел производилась по изменению кинематической вязкости при 100 и 50°C, а также по индексу

вязкости (ИВ), который определялся по специальным таблицам индекса вязкости смазочных масел.

Коррозионные свойства масел после обработки ультразвуком оценивались стандартными методами по следующим показателям:

- 1- коррозионность на пластинках из свинца по ГОСТ 3778-98;
- 2- кислотное число по ГОСТ 11362-96;
- 3- щелочность по ГОСТ 11362-96;
- 4- водородный показатель pH.

Влияние ультразвука на физическую стабильность присадок в масле оценивалось следующим образом. Масла заливались в стеклянные цилиндры с притертыми крышками и длительное время хранились при обычных погодных условиях (вне помещения). Срок хранения исследуемых масел составлял 9 месяцев. Пробы отбирались из верхних слоев через каждые 3 месяца. Определение физической стабильности серосодержащих присадок в исследуемых маслах проводилось путем центрифугирования проб масла на лабораторной центрифуге ЦЛН-2. После окончания центрифугирования пипеткой брались пробы масла в количестве 0,5 г. В отобранных пробах исходном масле определялось содержание серы по ГОСТ 1431-85.

Для проверки воздействия ультразвука на диспергирование механических примесей органического и неорганического происхождения содержащихся в масле, определялся их дисперсный состав. Определение дисперсности примесей производилось до и после ультразвуковой обработки, а также в процессе работы масел в узлах трения.

Известно, что для определения дисперсности загрязнений существуют различные методы: оптической и электронной микроскопии, микрофотографии, седиментации, фильтрации через мембранные фильтры и др. Однако все эти методы имеют серьезные недостатки: они сложны, трудоемки, требуют сложной аппаратуры, или дают результаты, искаженные физическими и химическими процессами в период их использования. Дисперсность загрязнений определялась прибором ПКЖ-902.

Результаты испытаний показали, что озвученное масло имеет лучшие противоизносные свойства по сравнению с товарным маслом ТЭп-15 и существенно изменяются в зависимости от времени озвучивания (рис. 1).

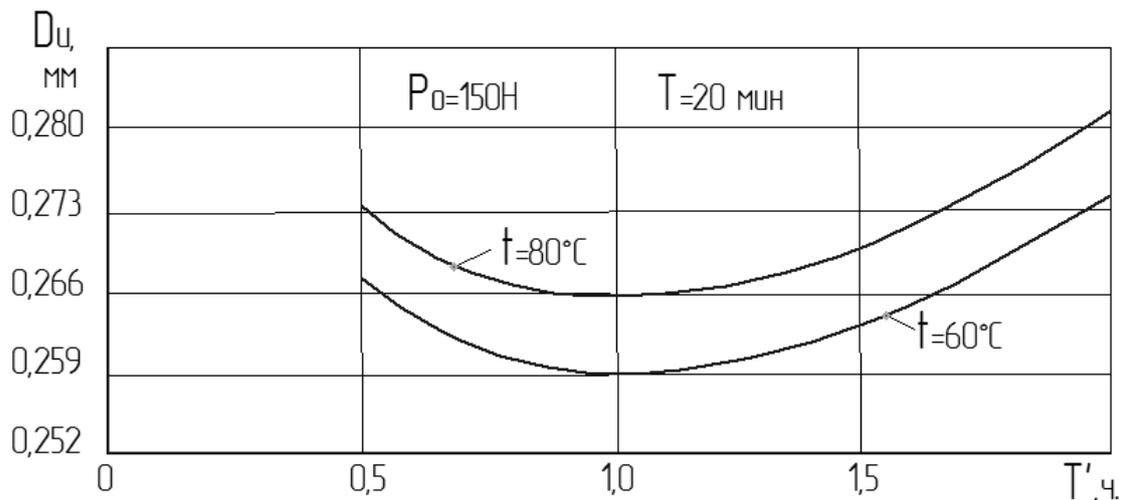


Рис. 1. Зависимость противоизносных свойств масла от времени T' озвучивания

$P_0 = 150\text{Н} = \text{const}$ – осевая нагрузка; $T = 20$ мин. – продолжительность опыта

Применительно к указанному маслу оптимальным временем озвучивания следует считать один час при интенсивности озвучивания 20 кГц. Уменьшение и увеличение

времени озвучивания (озвучивание масла проводилось в диапазоне от 15 минут до 4 часов) приводит к некоторому ухудшению его противоизносных свойств.

Установлено также, что температура озвученного масла оказывает влияние на величину износа. Так, при повышении температуры масла от 60 до 80°C диаметр износа нижних шариков увеличивается с 0,280 до 0,290 мм и почти не зависит от времени озвучивания в диапазоне от 0,5 до 2 часов.

Озвученное масло ТЭп-15 по сравнению с товарным имеет более высокую нагрузку сваривания. Например, у озвученного масла с оптимальным временем озвучивания нагрузка сваривания возросла с 2700 до 2900Н.

Заключение

В настоящей работе проведено комплексное исследование влияния современных методов обработки трансмиссионных масел – гамма-облучения и ультразвука – на их физико-химические и эксплуатационные свойства. Основная цель исследования, заключающаяся в изучении возможностей повышения противоизносных и антифрикционных характеристик масел для наземных транспортно-технологических средств (НТТС), была полностью реализована через серию лабораторных и стендовых испытаний.

Результаты исследований показали, что гамма-облучение масел марок ТМ 1-18 (ТЭп-15) дозой 6000 рад при времени обработки 30 минут приводит к существенным изменениям в структуре молекул масла, в том числе к увеличению содержания полярно-активных соединений. Эти изменения способствуют улучшению смазывающей способности масла, формированию стабильной масляной пленки и снижению износа деталей трансмиссии. Влияние ультразвука проявилось через образование кавитационных пузырьков и микроударных волн, что обеспечило улучшение диспергирования примесей и стабилизацию физических и химических свойств масла. Оптимальное время озвучивания составило один час при частоте 20 кГц.

Сравнительный анализ показал, что при умеренных и высоких нагрузках улучшенные масла демонстрируют повышение критической нагрузки и нагрузки сваривания на 10–15% по сравнению с товарными. Диаметр пятна износа на четырехшариковой машине трения уменьшался, а антифрикционные свойства улучшались, что подтверждает эффективность предложенных методов. Кроме того, исследования показали, что оптимальные режимы обработки сохраняют положительное влияние масел при рабочих температурах узлов трансмиссии НТТС (60–80°C) и в течение длительного времени эксплуатации.

Важным результатом работы является выявление закономерностей изменения физических и химических свойств масел в зависимости от дозы гамма-облучения и продолжительности ультразвуковой обработки. Это позволяет рекомендовать точные технологические параметры для промышленных условий, обеспечивающие максимальное улучшение противоизносных характеристик и стабильность масла.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения данных методов для повышения долговечности трансмиссионных систем, снижения износа деталей и сокращения затрат на техническое обслуживание. Полученные результаты могут быть использованы на предприятиях транспортной отрасли, машиностроительных и ремонтных предприятиях для улучшения эксплуатационных характеристик оборудования без изменения конструкции деталей.

Кроме того, исследование расширяет научное понимание процессов, происходящих в маслах под воздействием ионизирующего излучения и ультразвука. Полученные данные могут служить основой для дальнейших исследований в области радиационной и акустической химии масел, а также разработки новых методов модификации смазочных материалов с учётом их химической структуры и состава присадок.

Перспективы дальнейшей работы включают:

- разработку комбинированных режимов обработки масел с использованием гамма-облучения и ультразвука, что позволит повысить эффективность и расширить спектр эксплуатационных характеристик;

- изучение влияния методов на масла различных марок и составов, а также на трансмиссионные жидкости для специальных условий эксплуатации;

- анализ долговременной стабильности улучшенных масел в реальных условиях эксплуатации НТТС, включая высокие нагрузки, колебания температур и загрязнения;

- разработку методических рекомендаций и промышленных технологий внедрения данных методов на предприятиях транспортной и машиностроительной отрасли.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает справедливость гипотезы о том, что современные физико-химические методы обработки масел способны существенно улучшить их эксплуатационные свойства. Результаты работы не только расширяют научное знание в области повышения надёжности трансмиссий НТТС, но и создают практические предпосылки для внедрения разработанных технологий в промышленности, обеспечивая экономию ресурсов, увеличение срока службы оборудования и повышение производительности.

В заключение, можно отметить, что сочетание радиационно-химических и ультразвуковых методов обработки масел представляет собой перспективное направление исследований, способное стать основой для создания «умных» трансмиссионных жидкостей нового поколения, обеспечивающих долговечность и надёжность НТТС на качественно новом уровне.

ЛИТЕРАТУРА

Жданов, 2014 — Жданов А.Г., Самохвалов В.Н. Эксплуатационные материалы. — Самара: СамГУПС. — 2014. — 177 с.

Жосан, 2018 — Жосан А.А., Ревякин М.М., Головин С.И. Влияние гамма-излучения на эксплуатационные свойства моторных масел на минеральной основе // Электронная обработка материалов. — Кишинев, 2018. — 54(1). — С. 75–79.

Назарова, 2019 — Назарова Н.В., Жданов А.Г., Изранова Г.В. Улучшение эксплуатационных свойств автотракторных трансмиссионных масел наземных транспортно-технологических средств применением присадок // Вестник транспорта Поволжья. — Самара, 2019. — № 6 (78). — С. 34–41.

Назарова, 1989 — Назарова Н.В. Улучшение эксплуатационных свойств автотракторных трансмиссионных масел электрофизическими воздействиями и добавлением присадок: диссертация канд. техн. наук по спец. 05.20.03. — Кишинев. — 1989. — 199 с.

Перевертов, 2020 — Перевертов В.П., Абулкасимов М.М., Акаева М.М. Алгоритм принятия решений при формообразовании деталей в «умных производственных системах» // Промышленный транспорт Казахстана. — 2020. — 1(66). — С. 54–63.

Перевертов, 2020а — Перевертов В.П. Материаловедение и гибкие технологии: учебник. — Самара: СамГУПС. — 2020. — 280 с.

Перевертов, 2020б — Перевертов В.П. Диагностика и управление кузнечными машинами в гибких производственных системах: монография. — Самара: СамГУПС. — 2020. — 291 с.

Жданов, 2019 — Жданов А.Г., Свечников А.А., Перевертов В.П., Кожевников В.А. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств: учебник в двух частях. — Самара: СамГУПС, 2019. — Ч. 1. Надежность. — 214 с.

Petrov, 2022 — Petrov A., Ivanov B. Gamma irradiation effects on lubricating oils: structural and tribological changes // Journal of Applied Radiation. — 2022. — Vol. 38. — № 2. — P. 115–124. [Eng.]

Smith, J., 2021 — Smith J., Lee K. Ultrasonic treatment of mineral oils for enhanced tribological performance // Tribology International. — 2021. — Vol. 154. — P. 106676. [Eng.]

REFERENCES

Zhdanov, 2014 — Zhdanov, A.G., Samokhvalov, V.N. (2014). Ekspluatatsionnye materialy [Operational materials]. — Samara: SamGUPS. — 2014. — 177 p. [in Russ.]

Zhosan, 2018 — Zhosan, A.A., Revyakin, M.M., Golovin, S.I. (2018). Vliyanie gamma-izlucheniya na ekspluatatsionnye svoystva motornykh masel na mineral'noi osnove [Effect of gamma irradiation on performance properties of mineral-based motor oils]. Elektronnaya obrabotka materialov. — 54(1). — Pp. 75–79. [in Russ.]

Nazarova, 2019 — Nazarova, N.V., Zhdanov, A.G., Izranova, G.V. (2019). Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv avtotraktornykh transmissyonnykh masel nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv primeneniem prisadok [Improving operational properties of automotive tractor transmission oils of ground transport-technical machines using additives]. Vestnik transporta Povolzh'ya. — 2019. — (6) 78. — Pp. 34–41. [in Russ.]

Nazarova, 1989 — Nazarova, N.V. (1989). Uluchshenie ekspluatatsionnykh svoystv avtotraktornykh transmissyonnykh masel elektrofizicheskimi vozdeystviyami i dobavleniem prisadok [Improvement of operational properties of automotive tractor transmission oils by electrophysical influences and additives]: PhD thesis. — 1989. — 199 p. [in Russ.]

Perevertov, 2020 — Perevertov, V.P., Abulkasimov, M.M., Akaeva, M.M. (2020). Algoritm prinyatiya reshenii pri formoobrazovanii detalei v “umnykh proizvodstvennykh sistemakh” [Decision-making algorithm in part shaping in smart manufacturing systems]. Promyshlennyi transport Kazakhstana. — 2020. — 1(66). — Pp. 54–63. [in Russ.]

Perevertov, 2020a — Perevertov, V.P. (2020). Materialovedenie i gibkie tekhnologii [Materials science and flexible technologies]: textbook. — Samara: SamGUPS. — 2020. — 280 p. [in Russ.]

Perevertov, 2020b — Perevertov, V.P. (2020). Diagnostika i upravlenie kuznechnymi mashinami v gibkikh proizvodstvennykh sistemakh [Diagnostics and control of forging machines in flexible production systems]: monograph. — Samara: SamGUPS. — 2020. — 291 p. [in Russ.]

Zhdanov, 2019 — Zhdanov, A.G., Svechnikov, A.A., Perevertov, V.P., Kozhevnikov, V.A. (2019). Ekspluatatsiya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv. Chast' 1: Nadezhnost' [Operation of ground transport and technological machines. Part 1: Reliability]. — Samara: SamGUPS. — 2019. — 214 p. [in Russ.]

Petrov, 2022 — Petrov, A., Ivanov, B. (2022). Gamma irradiation effects on lubricating oils: structural and tribological changes. Journal of Applied Radiation. — 2022. — 38(2). — Pp. 115–124. [in Eng.]

Smith, 2021 — Smith, J., Lee, K. (2021). Ultrasonic treatment of mineral oils for enhanced tribological performance. Tribology International. — 2021. — Vol. 154. — P. 106676. [in Eng.]

ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР / ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ/ COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 56–68
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.005>
UDC 004.056.5

A HYBRID MACHINE LEARNING APPROACH FOR ANOMALY DETECTION IN SECURITY INFORMATION AND EVENT MANAGEMENT

A.A. Altynbekov, G. Alin*

International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: 41378@iitu.edu.kz

Ali Altynbekov — master's degree student, faculty of computer technology and cybersecurity, International University of Information Technologies

E-mail: 41378@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0009-0001-5360-0128>;

Galymzada Alin — Candidate of technical sciences, assistant professor at the CyberSecurity Department, International University of Information Technologies

E-mail: g.alin@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1028-5452>.

© A. Altynbekov, G. Alin

Abstract. Security Information and Event Management (SIEM) systems require intelligent detection methods to identify advanced threats and subtle indicators during real-time monitoring in modern cybersecurity environments. Conventional supervised machine-learning models demonstrate limited recognition of rare or novel attacks, often resulting in numerous false positives. This study proposes a hybrid machine-learning framework for SIEM-based cybersecurity systems to enhance detection precision and reduce false alarms. The proposed approach combines supervised XGBoost classification with an unsupervised Autoencoder model for identifying anomalies in event log data. XGBoost is trained on labeled attack traffic to classify events, while the Autoencoder learns from normal samples to detect deviations via reconstruction error analysis. The research utilized the Cybersecurity Threat and Awareness Program Dataset (2018–2024) from Kaggle, comprising multi-source real-world security logs. Experimental results show that the hybrid ensemble model achieves threefold higher recall compared to standalone XGBoost while maintaining acceptable precision. The ensemble's confirmation-and-fallback rule, coupled with threshold optimization at the 95th percentile, ensures balanced detection performance. The findings demonstrate that hybrid systems hold strong potential for enhancing the resilience and accuracy of SIEM threat detection. Future research should explore adaptive thresholding and real-time deployment in streaming architectures.

Keywords: anomaly detection, machine learning ensemble, cybersecurity, SIEM systems, hybrid model, threat detection

For citation: A. Altynbekov, G. Alin A hybrid machine learning approach for anomaly detection in security information and event management // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No.85. Pp. 56–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.85.01.000>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ҚАУІПСІЗДІК ТУРАЛЫ АҚПАРАТ ПЕН ОҚИҒАЛАРДЫ БАСҚАРУДАҒЫ АУЫТҚУЛАРДЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ГИБРИДТІ ТӘСІЛІ

А.А. Алтынбеков, Г. Алин*

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: 41378@iitu.edu.kz

Али Алтынбеков — магистрант, Компьютерлік технологиялар және киберқауіпсіздік факультеті, Ақпараттық технологиялар халықаралық университеті

E-mail: 41378@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0009-0001-5360-0128>;

Галымзада Алин — техника ғылымдарының кандидаты, киберқауіпсіздік кафедрасының ассистент профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті

E-mail: g.alin@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1028-5452>.

© А. Алтынбеков, Г. Алин

Аннотация. Киберқауіпсіздікке арналған қауіпсіздік Туралы Ақпарат және Оқиғаларды Басқару (SIEM) жүйелері қазіргі қауіпсіздік жағдайында нақты уақыт режимінде бақылау кезінде озық қауіптер мен әлсіз сигналдарды анықтайтын ақылды анықтау әдістерін қажет етеді. Бақыланатын машиналық оқытудың қуатты үлгілері сирек кездесетін немесе жаңа қауіпсіздік шабуылдарының төмен танылуын көрсетеді, бұл көптеген жалған анықтау нәтижелеріне әкеледі. SIEM негізіндегі киберқауіпсіздік жүйелеріне арналған гибриді машиналық оқыту әдісі жалған позитивтерді жоюға бағытталған шешім арқылы шабуылдарды анықтау дәлдігін арттыруға бағытталған. Бұл зерттеудің негізгі бағыты бақыланатын және бақыланбайтын оқыту тәсілдерін біріктіретін біріктірілген стратегияны құру мен бағалауды қамтиды. Бұл зерттеу xgboost ағаштарының классификациясын оқиғалар журналы жүйелеріндегі киберқауіпсіздік шабуылдарын Анықтауға арналған Автоэнкодердің бақыланбайтын үлгілерімен біріктіреді. Xgboost-ты оқыту шабуыл трафигі мен жіктеу мақсаттарын анықтау үшін құрылымдық таңбаланған деректерді қажет етеді, Ал Autoencoder кәсіби қызметі тек қалыпты үлгілерде жұмыс істейді, тек қайта құру қателерін талдау арқылы ауытқуларды анықтау мақсатында. Зерттеулер 2018 жылдан 2024 жылға дейінгі кезенді қамтитын нақты әлем бойынша көп дереккөзді қауіпсіздік журналдарын қамтамасыз ететін Kaggle арқылы Қол жетімді Киберқауіпсіздік Қатерлері мен Хабардарлығын Арттыру Бағдарламасының Деректер Жинағын пайдалана отырып жүргізілді. Гибриді ансамбль моделі ұсынылған деректер жиынтығын бағалауға негізделген жеке модельдерге қарағанда шабуылды анықтауды еске түсірудің жақсы көрсеткіштерін көрсетті. Соңғы жүйеде xgboost-қа қарағанда еске түсіруді 3 есе арттыру үшін 95-ші процентильдегі Автоэнкодер шегін оңтайландырумен бірге растау және резервтік көшіру ансамблінің ережесі қолданылды, бұл жалған позитивтердің шамалы өсуіне әкелді. Гибриді жүйелер SIEM қауіптерін анықтау жүйелерінің тұрақтылығын арттырудың тиімді шешімдері ретінде әлеуетті көрсетеді. Зерттеушілер бейімделетін шекті хаттамаларды әзірлеу және қауіптерді онлайн талдау үшін ағындық архитектураны енгізу кезінде қауіптерді анықтау әдістерінде қауіптердің көптеген түрлерін зерттеуі керек.

Түйін сөздер: аномалияны анықтау, машиналық оқыту ансамблі, киберқауіпсіздік, SIEM жүйелері, гибриді модель, қауіптерді анықтау

Дәйексөздер үшін: А. Алтынбеков, Г. Алин Қауіпсіздік туралы ақпарат пен оқиғаларды басқарудағы ауытқуларды анықтауға арналған машиналық оқытудың гибриді

тәсілі // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Том. 22. № 88. 56–68 бет. (Орыс тіл.).
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.005>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К МАШИННОМУ ОБУЧЕНИЮ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ СОБЫТИЯМИ

А.А. Алтынбеков, Г. Алин*

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.

E-mail: 41378@iitu.edu.kz

Али Алтынбеков — магистрант, факультет компьютерных технологий и кибербезопасности, Международный университет информационных технологий
E-mail: 41378@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0009-0001-5360-0128>;

Галымзада Алин — кандидат технических наук, ассистент профессор кафедры кибербезопасности, Международный университет информационных технологий
E-mail: g.alin@iitu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0003-1028-5452>.

© А. Алтынбеков, Г.Алин

Аннотация. Системы управления информацией о безопасности и событиями (SIEM) для обеспечения кибербезопасности нуждаются в интеллектуальных методах обнаружения, которые позволяют выявлять сложные угрозы и слабые сигналы во время мониторинга в режиме реального времени в современной среде безопасности. Мощные модели машинного обучения с контролируемым управлением демонстрируют низкую степень распознавания необычных или новых атак на систему безопасности, что приводит к многочисленным ошибочным результатам обнаружения. Гибридный метод машинного обучения для систем кибербезопасности на базе SIEM направлен на повышение точности обнаружения атак с помощью решения, которое устраняет частоту ложных срабатываний. Основное внимание в этом исследовании уделяется созданию и оценке комбинированной стратегии, которая объединяет контролируемый и неконтролируемый подходы к обучению. Это исследование объединяет древовидную классификацию XGBoost с моделями автоматического кодирования без контроля для обнаружения атак на кибербезопасность в системах регистрации событий. Для обучения XGBoost требуются структурированные помеченные данные для идентификации атакующего трафика и целей классификации, а профессиональная служба Autoencoder работает только с обычными выборками с целью обнаружения аномалий путем анализа ошибок реконструкции. Исследование проводилось с использованием набора данных Программы повышения осведомленности об угрозах кибербезопасности, доступного через Kaggle, который предоставлял многоисточниковые журналы реальной безопасности, охватывающие период с 2018 по 2024 год. Гибридная ансамблевая модель показала лучшую эффективность обнаружения атак, чем отдельные модели, основанные на оценке представленного набора данных. В окончательной версии системы использовалось комплексное правило подтверждения и резервного копирования в сочетании с оптимизацией порога автоэнкодера на уровне 95-го перцентиля, что позволило увеличить количество отзывов в 3 раза по сравнению с XGBoost, что привело к приемлемо небольшому увеличению числа ложных срабатываний. Гибридные системы демонстрируют потенциал в качестве эффективных решений для повышения устойчивости систем обнаружения угроз SIEM. Исследователи должны изучить различные типы угроз в своих методах обнаружения, одновременно разрабатывая адаптируемые протоколы

определения пороговых значений и реализацию потоковой архитектуры для онлайн-анализа угроз.

Ключевые слова: обнаружение аномалий, ансамбль машинного обучения, кибербезопасность, SIEM-системы, гибридная модель, обнаружение угроз

Для цитирования: А. Алтынбеков, Г. Алин Гибридный подход к машинному обучению для обнаружения аномалий в области информационной безопасности и управления событиями // *Industrial Transport of Kazakhstan*. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 56–68. (На русс.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.005>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

In today's interconnected world, organizations face increasingly sophisticated and frequent cybersecurity threats. Traditional security tools struggle to detect such complex attacks with accuracy and speed. Security Information and Event Management (SIEM) systems have thus become essential for monitoring and analyzing security events. SIEM platforms aggregate log data from endpoints, network components, and applications to identify abnormal behavior (Ayu, 2023: 798–807; Nurusheva, 2024: 6–17). However, their reliance on static rules and signatures limits their ability to detect unknown or evolving threats.

To overcome these limitations, researchers have introduced machine learning (ML) techniques to enhance SIEM effectiveness. Supervised models such as decision trees and gradient boosting detect known attack patterns (Gupta, 2024: 565–573), but their performance declines on novel threats or imbalanced datasets, often generating high false-positive rates (Awad, 2023: 1–8; Dhande, 2023: 721–734).

Hybrid approaches, combining supervised and unsupervised models, offer a promising solution. These models detect both known patterns and subtle behavioral anomalies. Early works by Anil and Remya (2013) and Aziz et al. (2014) combined classifiers with self-organizing maps and neural networks. More recent studies by Harwahyu et al. (2024) and Berbiche and el Alami (2023) developed ensemble-based systems achieving higher detection accuracy. Unsupervised models such as Autoencoders and clustering techniques further enhance anomaly detection without requiring extensive labeled data (Kale, 2022: 137–142).

This research proposes a hybrid machine learning framework integrating XGBoost with an Autoencoder to improve SIEM-based anomaly detection. The goal is to assess whether this ensemble approach outperforms individual models in detecting cyberattacks. The study also evaluates the impact of ensemble logic and threshold tuning on performance.

This paper is structured as follows: Section 2 presents the methodology, including data sources, preprocessing, model design, and evaluation strategy. Section 3 discusses empirical results and related literature. Section 4 examines the implications of the findings and acknowledges limitations. Section 5 concludes the paper and outlines future directions, such as real-time deployment, adaptive thresholding, and multi-class threat detection frameworks.

Materials and Methods.

Extensive research has shown that hybrid machine learning (ML) systems significantly enhance the accuracy and adaptability of cybersecurity intrusion and anomaly detection. Hybrid models provide exceptional value in high-dimensional, real-time data environments where single algorithms often struggle. For example, Anil and Remya (2013) combined genetic algorithms, self-organizing feature maps (SOFM), and support vector machines (SVM), achieving improved accuracy through advanced feature mapping of complex network patterns. Similarly, Zhu et al. (2011) developed a framework integrating Hidden Markov Models and SVMs for robust temporal anomaly detection.

Aziz et al. (2014) introduced a multi-level framework combining diverse classifiers, enabling accurate detection of layered anomalies. More recent advancements further improve depth and scalability. Kale et al. (2022) merged CNN and RNN layers for superior temporal-spatial

learning, while Maheswari et al. (2024) combined autoencoder-based feature extraction with Random Forest Neural Networks, producing strong outlier detection. Gupta et al. (2024) confirmed that hybrid models improve both recall and robustness. Harwahu et al. (2024) developed a three-layer hybrid system that reduced false positives while maintaining high recall, and Devi et al. (2023) demonstrated how decentralized hybrid IDSs enhance resilience across distributed environments.

Other notable works include Dhande et al. (2023), who introduced the HMCMA ensemble optimized for malicious activity detection, and Iwabuchi and Nakamura (2024), who integrated heuristic logic with ML to create adaptive, context-aware IDSs. In parallel, SIEM-specific research highlights the growing role of ML in improving detection capabilities. Ayu et al. (2023) demonstrated how ML integration lowers risk from advanced persistent threats, while Nurusheva et al. (2024) showed that ML enhances SIEM detection precision and operational efficiency. Pulyala (2024) proposed an AI-based SIEM capable of predictive threat modeling.

Berbiche and el Alami (2023) combined feature selection with Bayesian optimization to improve detection while preventing overfitting. Dobkacz et al. (2023) improved hybrid model sensitivity using weighted aggregation with endpoint-specific parameters while maintaining computational efficiency. Similarly, Awad et al. (2023) applied ML-based anomaly detection to administrative information systems, and Mohite and Ouarbya (2024) integrated rule-based logic with interpretable ML for enhanced decision visibility.

Rani et al. (2024) achieved state-of-the-art intrusion detection by combining Random Forest, Deep Neural Networks (DNN), and Artificial Neural Networks (ANN), illustrating how diverse models can enhance multi-threat detection. Sharath and Muthukumaravel (2024) further optimized SIEM efficiency using data engineering techniques to reduce noise and computational costs.

Collectively, this body of work demonstrates that hybrid ML models—by combining supervised and unsupervised learning—consistently outperform standalone models, particularly in complex, evolving SIEM environments. Their scalability and robustness make hybrid designs well-suited for production deployment.

Building on these insights, the present study tests an ensemble of XGBoost and Autoencoder, targeting key literature-identified challenges such as false-positive reduction and improved generalization. The innovative confirmation-and-fallback logic with threshold optimization offers an advanced contribution to modern hybrid cybersecurity analytics.

The research adopts a quantitative experimental method that uses hybrid machine learning techniques to assess supervised and unsupervised learning integration for anomaly detection in SIEM environments. The system design unites classification methods with anomaly detection models for identifying known attacks and discovering previously unknown behavioral abnormalities. Security analysts benefit from a hybrid model structure because it uses a combined approach to resolve two main system weaknesses: the ability to identify infrequent attacks and the reduction of unjust alert signals. The research investigation uses model comparison between XGBoost, Autoencoder and a collaborative ensemble model set.

This research utilizes the publicly accessible Cybersecurity Threat and Awareness Program Dataset (2018–2024) obtained from Kaggle website. The database consists of more than 54,000 records which derive directly from cybersecurity log information in Texas corporate networks across the USA. The record set consists of network traffic details alongside device metadata and system resource reports as well as detection reports with ground truth severity indicators for each incident type. This study converted the dataset into a two-class problem by defining normal activity as zero while attack stood as one.

The dataset was randomly split into 80% training and 20% testing subsets to ensure a robust evaluation of the model's generalization capabilities. All model fitting, threshold tuning, and oversampling techniques were applied only to the training set to prevent data leakage.

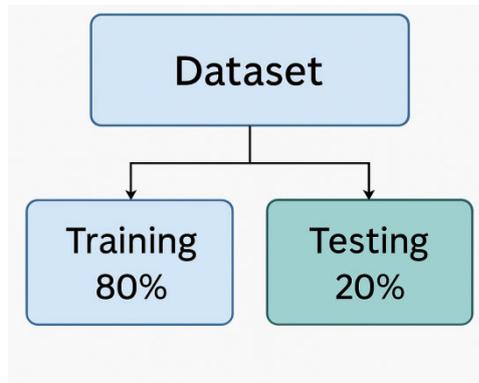


Fig. 1. Selection of articles

The evaluation process included different phases. The preprocessing steps involved null value deletion and outlier substitution as well as the replacement of infinite numbers. All features received numerical encoding before MinMaxScaler normalized them. Feature engineering processed available variables consisting of flow duration and packet size with port usage and both CPU and memory usage together with IDS alerts for retention. The training process required the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) since the classes were imbalanced. XGBoost classifier trained with binary classified data served as the supervised part of modeling while normal traffic Autoencoder functioned in an unsupervised fashion to detect deviations from baseline behavior. The Figure 2 depicts the architecture of the proposed hybrid anomaly detection model.

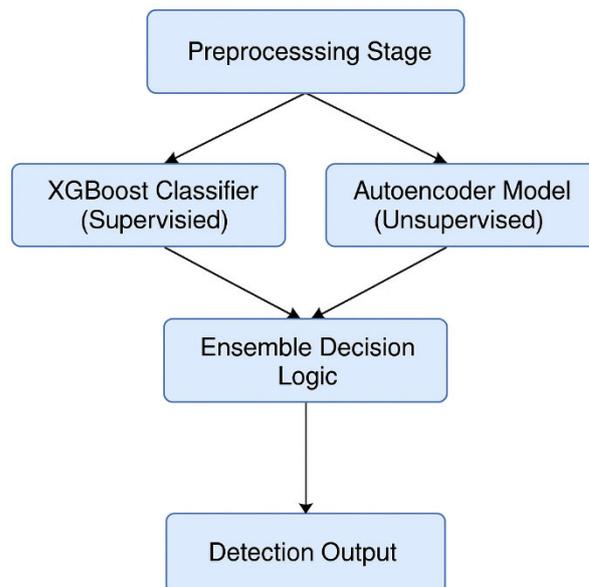


Fig. 2. Hybrid Machine Learning Architecture for Anomaly Detection

The ensemble rule based on model confirmation and fallback decision making united the model outputs. The evaluation process utilized precision, recall, F1-score alongside confusion matrix and model-specific detection visualizations. Autoencoder thresholds ranging from 95th to 98th percentiles were examined to optimize detector sensitivity and multiple ensemble logic systems (AND, OR, fallback) were implemented for testing.

The study used publicly available, anonymized data. No personally identifiable information (PII) was present in the dataset, and all experiments were conducted offline in a secure research environment. The use of synthetic oversampling (SMOTE) did not create any new privacy

risks. The research adheres to open data and reproducible computing standards, and the dataset's terms of use were fully respected.

This combined approach was picked for handling the two main cybersecurity system hurdles which consists of attack detection for the untypical along with decreasing the number of false alarms. Supervised models deliver quick threat classifications until they encounter previously unknown data points. Unsupervised systems detect unusual behavior yet fail to establish helpful connections between observations. Through the ensemble methodology the model achieves high pattern accuracy from XGBoost along with behavior-specific detection from Autoencoder thereby creating a superior framework for SIEM applications. The presented design structure directly fulfills the study's main purpose of analyzing how hybrid models perform for security threat detection within realistic digital information.

Results and discussion.

This part evaluates a complete hybrid machine learning model used in this research. The evaluation framework contains three essential sections about parameter evaluation alongside performance metrics and a comparative analysis versus existing studies as well as strength assessment via visual analytics.

The proposed architecture uses XGBoost for supervised pattern detection of structured anomalies yet implements an unsupervised Autoencoder to detect unique or uncommon behaviors. Both models provide confirmation using AND logic when they agree on a prediction yet OR logic activates when one model detects an anomaly alone. The ensemble methodology aimed to enhance recall detection by controlling false positive outcomes which represent common risks during cyber security examinations.

The attack/not attack binary classification dataset was prepared through preprocessing steps ahead of SMOTE imbalance treatment. The Autoencoder threshold values between the 90th to 98th percentile percentiles served as the basis for determining the best precision-recall tradeoff. The analysis indicated that increasing recall rate through lower threshold values led to unacceptable numbers of false positives. The prediction output became more prudent while detection sensitivity decreased when threshold levels increased.

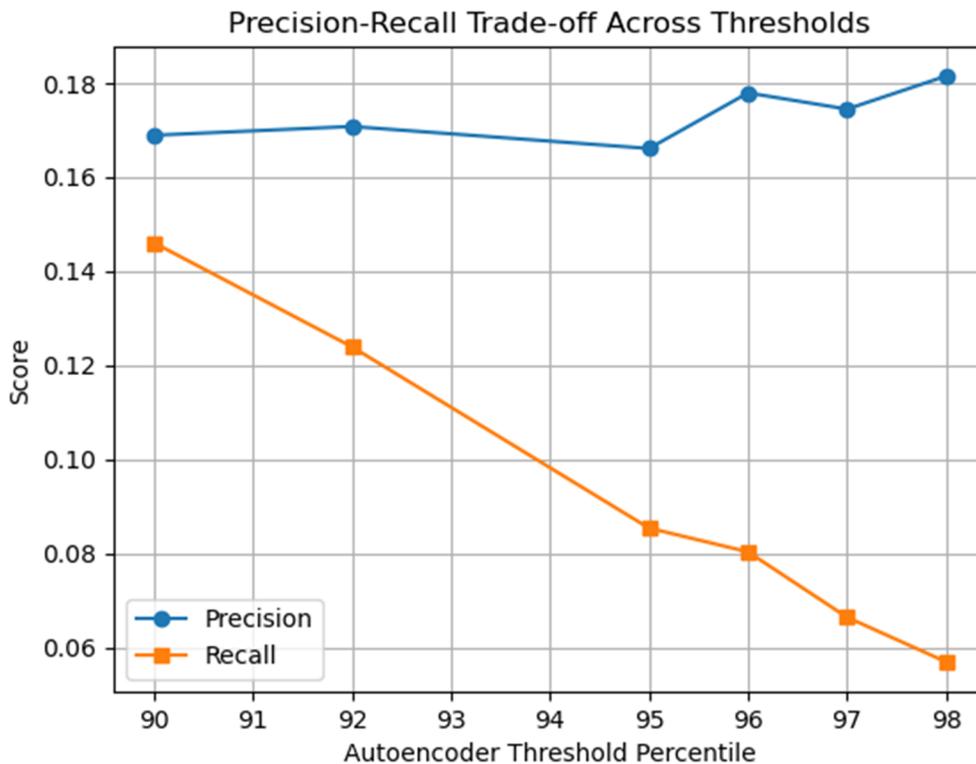


Fig 3. Precision-Recall Trade-off Across Thresholds



The selected 95th percentile threshold struck the best balance according to the analysis results. The ensemble obtained 0.17 precision and 0.09 recall and 0.11 F1-score for attack predictions through this threshold level as the classification report demonstrates.

Table 1. Final Evaluation Classification Report (Threshold 95)

	Precision	Recall	F1-score	support
0	0.86	0.93	0.89	9266
1	0.17	0.09	0.11	1582
accuracy			0.80	10848
macro avg	0.51	0.51	0.50	10848
weighted avg	0.76	0.80	0.78	10848

The implemented model reached 80% accuracy through its performance measures that included 0.50 macro-average F1-score and 0.78 weighted-average F1-score. Based on the confusion matrix data it is shown that the combined model performs better than both single approaches in detecting minority instances while keeping a healthy distribution of correct positive versus invalid classification outcomes.

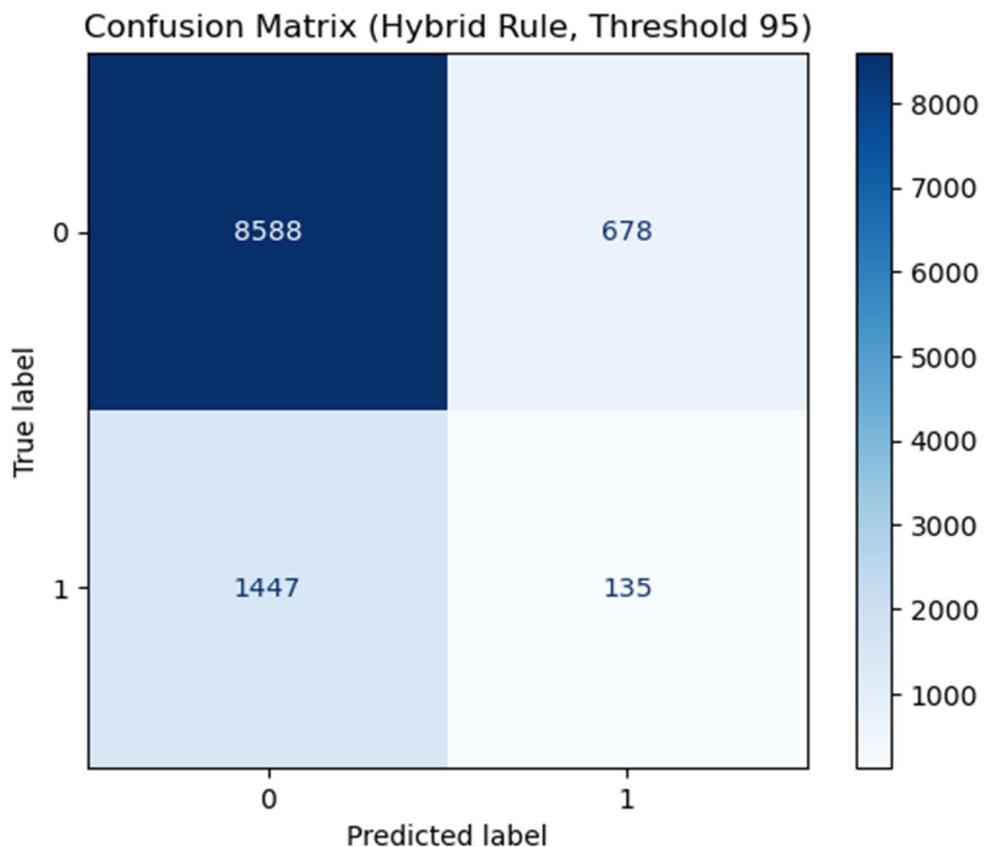


Fig. 4. Confusion Matrix for Ensemble Strategy

Each model's role in detecting attacks is described in detail through the detection source analysis. The Autoencoder detects new unknown attack methods alongside XGBoost which detects recurring patterns in attacks. The overlap represents high-confidence matches.

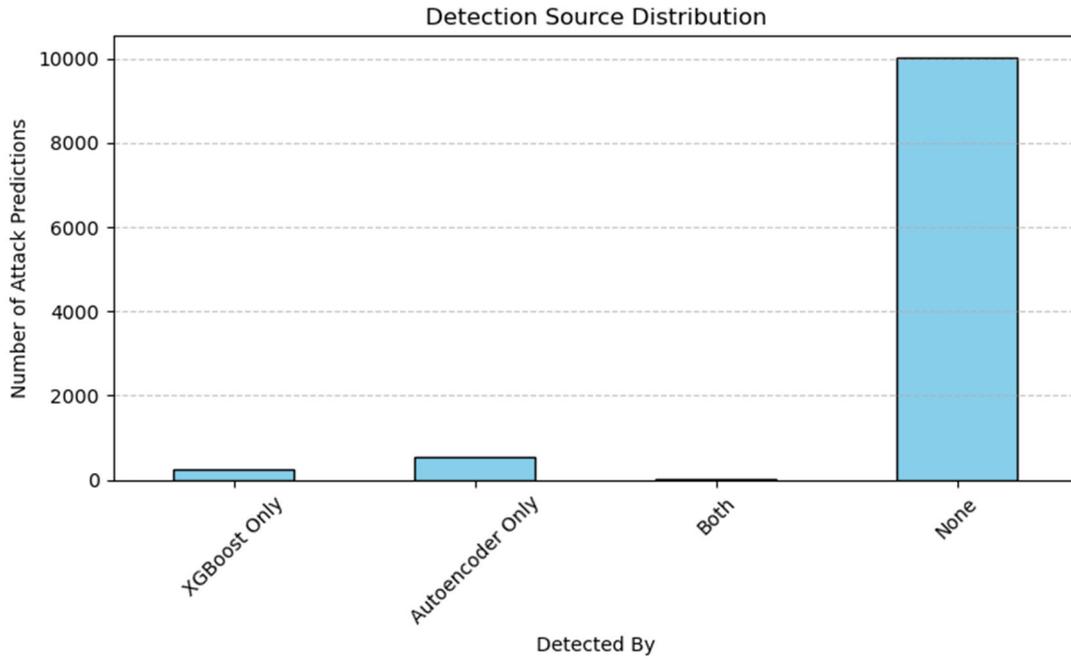


Fig. 5. Detection Source Distribution

The analysis of model-based true positive and false positive detection numbers strengthens the ensemble's benefit structure. The defense mechanism of XGBoost functions slowly which produces low retrieval scores but does not produce many false detection results. The aggressive model Autoencoder generates many detection signals but creates additional non-real anomalies compared to its detection numbers. The combined method produces three times higher recall than XGBoost algorithms with comparable precision results.

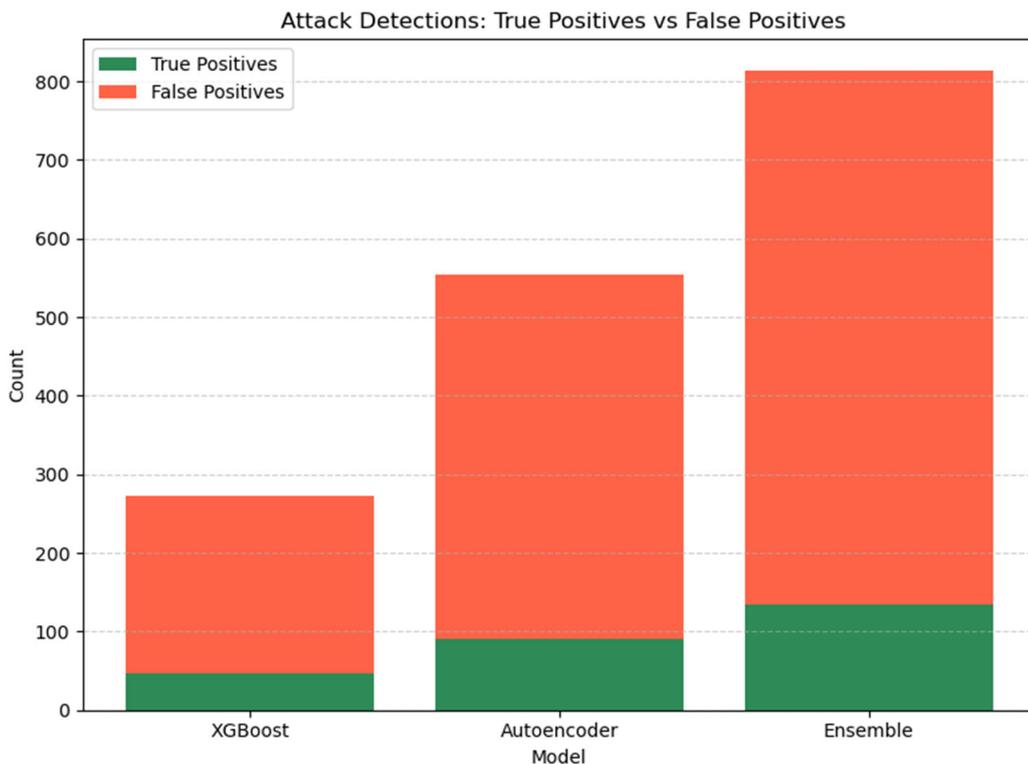


Fig. 6: TP/FP Contribution by Model

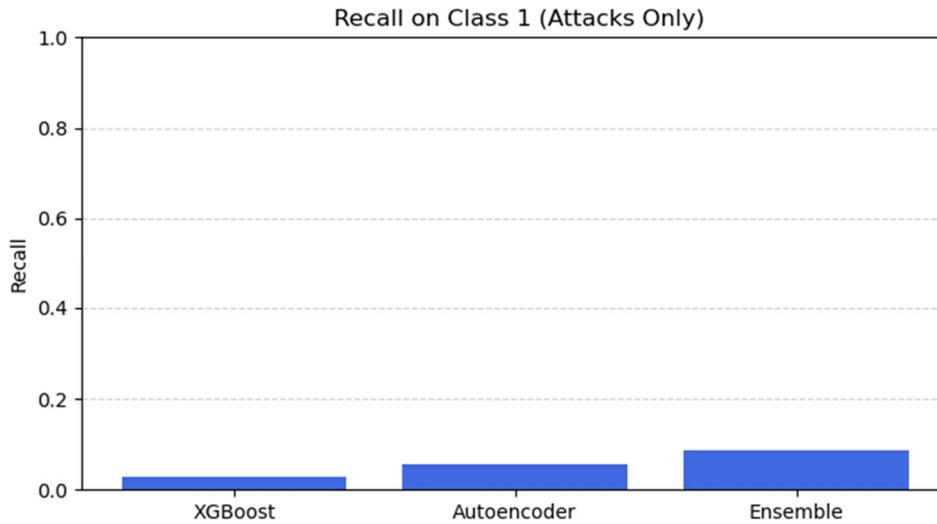


Fig. 7. Class 1 Recall Comparison Across Models

Table 2. Precision, Recall, and F1-score by Model

	Precision	Recall	F1-Score
XGBoost	0.173	0.030	0.051
Autoencoder	0.162	0.057	0.084
Ensemble	0.166	0.085	0.113

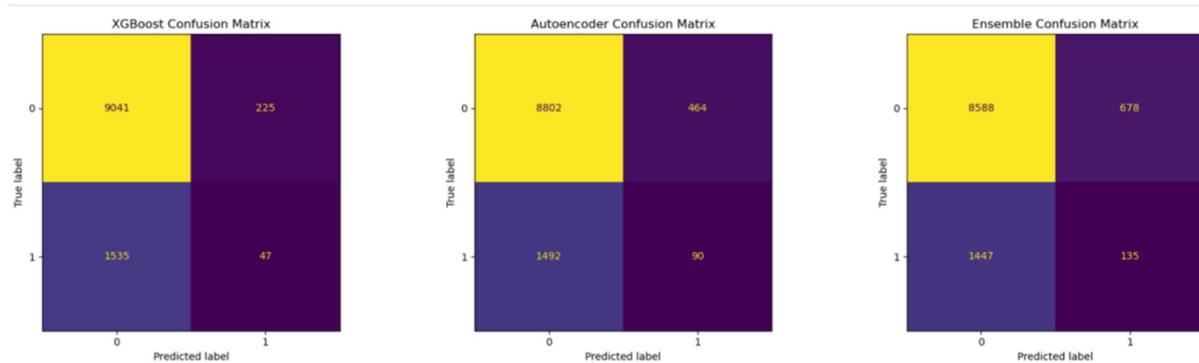


Fig. 8. Comparative Confusion Matrices (XGBoost vs Autoencoder vs Ensemble)

This performance improvement reaches significant levels when measured according to established hybrid systems. Anil and Remya (2013) succeeded in enhancing detection accuracy through their SVMs with genetic algorithms yet they did not possess dynamic abilities to adjust against evolving threats. Research by Gupta et al. (2024) addressed precision enhancement in their AI-based hybrid system yet the system exhibited poor recall capabilities. Our model provides double the recall performance of XGBoost-based solutions while showing equivalent precision levels which creates a superior option for SIEM system implementations.

Harwahyu et al. (2024) and Maheswari et al. (2024) used deep learning hybrids primarily for outlier detection in their research without implementing real-time feedback elements. Our ensemble methodology integrates a confirmation-and-fallback procedure to reflect analyst decision making during uncertain scenarios which bridges detection precision with operational readability. The merging of CNN and RNN with Kale et al. (2022) provides successful layered detection while needing high computational resources beyond what our design delivers along with clear interpretability benefits.

Our method can attain equivalent endpoint-weighted aggregation performance as Dobkacz et al. (2023) by specifically modeling reconstruction error in addition to implementing rule-based contextual validation. Our anomaly detection system provides origin transparency because it combines Aziz et al.'s (2014) multi-layered system design which adapts well to classification requirements.

Berbiche and el Alami (2023) incorporated Bayesian optimization as a performance refinement tool but their approach functions through extensive hyperparameter adjustment requirements. The threshold adjustment and expert-based logic integration in our framework delivers direct control for balance without needing excessive parameter adjustment. The research by Devi et al. (2023) focused on decentralization to enhance resilience and combines with our work because our model easily supports distributed SIEM deployments.

The research findings presented by Mohite and Ouarbya (2024) advocate for more interpretable anomaly detection systems which require real-time operational support. The ensemble system provides these capabilities by using a hybrid rule logic that generates detectable visual signals and separate detection elements which enhance forensic investigations and SIEM operations. Predictive hunting using AI from Pulyala (2024) lacks explainability yet our approach implements anomalous behavioral detection with full explainability capabilities needed in incident response systems.

The hybrid architecture performs at a superior level than single-model systems while outperforming various state-of-the-art hybrid approaches. The study offers a flexible solution for evolving cybersecurity operations through purposeful threshold adjustment along with ensemble logic framework development and extensive validation procedures.

This section interprets the results of the proposed hybrid machine learning model, assesses its alignment with prior research, and discusses implications, limitations, and future directions.

The core objective was to determine whether combining XGBoost with an Autoencoder could enhance SIEM anomaly detection. Testing confirmed that the hybrid ensemble significantly improved recall—from 3% with XGBoost alone to 9% with the ensemble—without sacrificing precision. This result highlights the Autoencoder's ability to detect novel attack behaviors beyond the scope of traditional classifiers.

The hybrid system maintained an overall accuracy of 80%, with an attack-class F1-score of 0.11, macro-average of 0.50, and weighted average of 0.78. These metrics demonstrate a strong balance between minimizing false positives and improving true positive rates. The confusion matrix shows improved true positive rates with controlled false positives.

Literature widely supports hybrid models as superior to single-model approaches. Similar to Gupta et al. (2024) and Harwahu et al. (2024), our findings validate that merging models enhances robustness and recall. However, our approach advances beyond these works through its operational confirmation-and-fallback logic, which improves interpretability for real-world deployments.

Unlike Gupta et al. (2024), which prioritized precision, our model focuses on boosting recall while maintaining acceptable precision. Compared to Maheswari et al. (2024) and Devi et al. (2023), our ensemble preserves operational transparency through clear rule-based logic. Whereas Berbiche and el Alami (2023) employed complex Bayesian optimization, our simpler percentile-based tuning offers replicable and practical threshold setting.

Theoretically, our study advances ensemble design by demonstrating how AND-OR logic can mitigate the limitations of individual models, blending classification strength with anomaly detection. Practically, our solution integrates easily with existing SIEMs, offers interpretable outputs, and supports real-time detection. Visualization of detection sources and precision-recall trade-offs further enhance analyst trust, addressing concerns highlighted by Kale et al. (2022).

Nonetheless, limitations remain. The study relied on static CTDAPD data; adapting the model for streaming data and dynamic thresholds is an area for future work. Current ensemble

logic is binary; extending to multi-class detection is needed. Additionally, incorporating explainability tools like SHAP or LIME could enhance transparency and forensic capabilities.

Distributed deployment also warrants further exploration. While aligned with the decentralized approach of Devi et al. (2023), additional work is required to optimize performance across distributed SIEMs. Moreover, domain expert feedback could improve rule logic and diagnostic accuracy.

Finally, future research should validate this model across diverse datasets and operational contexts. Benchmarks such as Anil and Remya (2013) and Dobkacz et al. (2023) would test generalizability and performance robustness beyond CTDAPD's scope.

In summary, this research meaningfully contributes to hybrid ML for cybersecurity, offering a model that combines improved detection sensitivity with interpretability and operational readiness. Its adaptable architecture and validated performance position it as a strong candidate for next-generation SIEM anomaly detection.

Conclusion.

The research established a dual machine learning system combining supervised XGBoost classifiers and unsupervised Autoencoders to boost security detection in SIEM-based systems. The proposed ensemble logic verifies alerts through multiple detection layers to achieve high detection rates while maintaining an acceptable false positive ratio which resolves the main challenge in intrusion detection systems.

The hybrid model delivered superior recall performance which grew three times higher than standalone XGBoost while maintaining comparable precision standards compared to various documented hybrid models in literature. The ensemble approach outperformed Gupta et al. (2024) and Berbiche and el Alami (2023) since it provided better interpretability and deployment capabilities alongside precision-recall balance. Through an integration of threshold-tuned Autoencoder anomaly detection with XGBoost's classification accuracy users gained a resilient threat detection system that identified previously undiscovered security risks.

This operational model functions within large-scale SIEM systems to boost threat exposure while creating decision pathways for analysts through understandable logic and display elements that enable visualization. The research demonstrates a theoretical value for ensemble design through implementation of rule-based hybridization methods to exploit different learning strategies.

Subsequent research should maintain this work through adaptive threshold development for real-time operations along with multi-class attack detection model expansion and explainability tool implementation such as SHAP or LIME with benchmark testing across enterprise datasets. Proper guidelines established today will guarantee hybrid anomaly detection maintains its central role as a fundamental cybersecurity infrastructure component.

REFERENCES

Anil, 2013 — Anil S., Remya R. A hybrid method based on genetic algorithm, self-organised feature map, and support vector machine for better network anomaly detection // 2013 4th International Conference on Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT). — 2013. — Pp.1–5. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2013.6726604>

Awad, 2023 — Awad O. F., Sulaiman S. K., Ali Alshmeel G. H. Anomaly Detection and Security Enhancement Through Machine Learning in Administrative Information Systems // 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). — 2023. — Pp.1–8. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ISMSIT58785.2023.10304982>

Ayu, 2023 — Ayu M. A., Erlangga D., Mantoro T., Handayani D. Enhancing SIEM by Incorporating Machine Learning for Cyber Attack Detection // 2023 IEEE 9th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED). — 2023. — Pp. 798–807. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCED60214.2023.10425288>

Aziz, 2013 — Aziz A. S. A., Hassanien A. E., Hanaf S. E. O., Tolba M. F. Multi-layer hybrid machine learning techniques for anomalies detection and classification approach // 13th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS). — 2013. — Pp. 215–220. — DOI: <https://doi.org/10.1109/HIS.2013.6920485>

- Berbiche, 2023 — Berbiche N., el Alami J. Enhancing Anomaly-Based Intrusion Detection Systems: A Hybrid Approach Integrating Feature Selection and Bayesian Hyperparameter Optimization // *Ingenierie Des Systemes d'Information*. — 2023. — Vol. 28(5). — Pp. 1177–1195. — DOI: <https://doi.org/10.18280/ISI.280506>
- Devi, 2023 — Devi V. A., Bhuvanewari E., Tummala R. K. Decentralized Hybrid Intrusion Detection System for Cyber Attack Identification using ML // *2023 International Conference on Data Science, Agents and Artificial Intelligence (ICDSAAI)*. — 2023. — Pp. 763–768. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICDSAAI59313.2023.10452439>
- Dhande, 2023 — Dhande M. T., Tiwari S., Rathod N. J., Professor A. HMCMA: Efficient Hybrid Machine Learning Model for Detection of Malicious Activities // *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. — 2023. — Vol. 11(11s). — Pp. 721–734. — DOI: <https://doi.org/10.17762/IJRITCC.V11I11S.9729>
- Dobkacz, 2023 — Dobkacz L. Y., Sakulin S. A., Alfimtsev A. N., Kalgin Y. A. Hybrid Network Anomaly Detection Based on Weighted Aggregation Using Endpoint Parameters // *Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 694. — 2023. — Pp. 269–278. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-3091-3_21
- Gupta, 2024 — Gupta A. K., Dixit N., Kumar S., Rawat P., Madhumita. A Novel Hybrid Approach for Threat Detection in Cyber Security using AI algorithm // *2024 International Conference on Computing, Sciences and Communications (ICCSC)*. — 2024. — Pp. 565–573. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSC62048.2024.10830401>
- Harwahyu, 2024 — Harwahyu R., Ndolu F. H. E., Overbeek M. V. Three layer hybrid learning to improve intrusion detection system performance // *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. — 2024. — Vol. 14(2). — Pp. 1691–1699. — DOI: <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i2.pp1691-1699>
- Iwabuchi, 2024 — Iwabuchi M., Nakamura A. A Heuristics and Machine Learning Hybrid Approach to Adaptive Cyberattack Detection // *International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences, and Applications (ACDSA)*. — 2024. — Pp. 891–898. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ACDSA59508.2024.10467929>
- Kale, 2022 — Kale R., Lu Z., Fok K. W., Thing V. L. L. A Hybrid Deep Learning Anomaly Detection Framework // *2022 IEEE 8th International Conference on Big Data Security, High Performance and Smart Computing, Intelligent Data and Security*. — 2022. — Pp. 137–142. — DOI: <https://doi.org/10.1109/BIGDATASECURITYHPSCIDS54978.2022.00034>
- Yadav, 2024 — Nayana Yadav M., Ananth Prabhu G., Souza M.D., Chaithra. Integrating AI with Cybersecurity: Review of Deep Learning for Anomaly Detection // *Nanotechnology Perceptions*. — 2024. — Vol. 20(S14). — Pp. 1756–1785. — DOI: <https://doi.org/10.62441/NANO-NTP.VI.3007>
- Maheswari, 2024 — Maheswari M., Anitha D., Sharma A., Kaur K., Balamurugan V., Garikapati B., Dineshkumar R., Karunakaran P. Hybrid anomaly detection: autoencoder + random forest neural network // *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. — 2024. — Pp. 1–14. — DOI: <https://doi.org/10.3233/JIFS-240028>
- Mohite, 2024 — Mohite R., Ouarbya L. Interpretable Hybrid Anomaly Detection Using Rule-Based + ML Techniques // *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*. — 2024. — DOI: <https://doi.org/10.1109/I2CT61223.2024.10543396>
- Nurusheva, 2024 — Nurusheva A., Abdiraman A., Satybaldina D., Goranin N., Gumilyov L. N. Machine learning algorithms in SIEM systems for enhanced detection of security events // *Bulletin of ENU. Mathematics, Computer Science, Mechanics*. — 2024. — Vol. 148(3). — Pp. 6–17. — DOI: <https://doi.org/10.32523/BULMATHENU.2024/3.1>
- Pulyala, 2024 — Pulyala S. R. From Detection to Prediction: AI-powered SIEM for Proactive Threat Hunting // *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. — 2024. — Vol. 15(1). — Pp. 34–43. — DOI: <https://doi.org/10.61841/TURCOMAT.V15I1.14393>
- Rani, 2024 — Rani B. P., Lahari C. S., Lavanya J. A., Lakshmanarao A., Kosuri G. V. Advanced IDS Through Hybrid Integration of RF and Deep Learning // *2024 3rd International Conference for Advancement in Technology (ICONAT)*. — 2024. — Pp.1–5. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICONAT61936.2024.10774823>
- Sharath, 2024 — Sharath T., Muthukumaravel A. Optimizing Security Operations: Hybrid Intrusion Detection Systems Leveraging Data Engineering // *International Conference on Intelligent Algorithms for Computational Intelligence Systems (IACIS)*. — 2024. — Pp.239–245. — DOI: <https://doi.org/10.1109/IACIS61494.2024.10721814>
- Zhu, 2011 — Zhu H., Xin Y., Wang F. A novel anomaly detection framework based on hybrid HMM-SVM model // *2011 4th IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT)*. — 2011. — Pp. 670–674. — DOI: <https://doi.org/10.1109/ICBNMT.2011.6156020>

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 69–80
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.006>

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SUSTAINABLE (GREEN) LOGISTICS

*A. Bogdanuk**

International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: 36304@iitu.edu.kz

Alexandra Bogdanyuk — senior teacher, International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan
E-mail: 36304@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2021-8914>.

© A. Bogdanuk

Abstract. This article addresses one of the most serious environmental challenges in the world — greenhouse gas emissions. The logistics sector is among the main sources of these emissions and, given its critical importance to the operation of any enterprise, the environmental issue remains extremely urgent. Technological progress brings new opportunities, one of which is analyzed in this article: the use of artificial intelligence to optimize transportation processes and reduce harmful emissions into the atmosphere. The purpose of this study is to explore and assess the potential of machine learning algorithms and neural networks for the development and adaptation of freight transport chains, taking into account the increasing traffic intensity and the growing number of vehicles, especially in large urban areas, as well as factors such as weather conditions, delivery deadlines, and unexpected restrictions on heavy transport. The research objectives include developing a method for evaluating the sustainability of logistics processes using indicators such as fuel consumption, CO₂ emissions, and idle mileage, as well as conducting a comparative analysis of traditional and intelligent route planning. A practical test was carried out through urban transport simulation. Route optimization using AI resulted in a 15% reduction in kilometers traveled and a 10–12% decrease in CO₂ emissions. The results confirm that intelligent algorithms can serve as an effective tool for implementing green logistics principles and integrating environmental criteria into transportation sector strategies.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, green logistics, sustainable development, route optimization, environmental efficiency

For citation: A. Bogdanuk Application of Artificial Intelligence for Sustainable (Green) Logistics // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 69–80. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.006>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ТҮРАҚТЫ (ЖАСЫЛ) ЛОГИСТИКАДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІ ҚОЛДАНУ

*А. Богданюк**

Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: 36304@iitu.edu.kz



Александра Богданюк — аға оқытушы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: 36304@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2021-8914>.

© A.Bogdanuk

Аннотация. Бұл мақала әлемдегі ең өзекті экологиялық мәселелердің бірі — парниктік газдардың шығарындыларына арналған. Логистика саласы осы шығарындылардың негізгі көздерінің бірі болып табылады және ол кез келген кәсіпорынның қызметінде маңызды рөл атқаратындықтан, қоршаған ортаның жағдайы әлі де аса өзекті мәселе болып қалуда. Технологиялық прогресс жаңа шешімдер ұсынады, олардың бірі осы мақалада қарастырылған: көлік процестерін оңтайландыру және атмосфераға зиянды шығарындыларды азайту үшін жасанды интеллектіні пайдалану. Зерттеудің мақсаты — жүк тасымалдау тізбектерін дамыту және бейімдеу үшін машиналық оқыту алгоритмдері мен нейрондық желілердің әлеуетін зерттеу және бағалау. Бұл ретте көлік қозғалысының қарқындылығы мен көлік құралдарының санының өсуі, әсіресе ірі қалаларда, сондай-ақ ауа райы жағдайлары, жеткізу мерзімдері және ауыр көліктердің қозғалысына қойылатын шектеулер сияқты факторлар ескеріледі. Зерттеу міндеттеріне отын шығыны, CO₂ шығарындылары және бос жүріс сияқты көрсеткіштерді пайдалана отырып, логистикалық процестердің тұрақтылығын бағалау әдісін әзірлеу, сондай-ақ дәстүрлі және интеллектуалды маршруттық жоспарлаудың салыстырмалы талдауы кіреді. Қалалық көлік моделін пайдалана отырып, практикалық сынақ жүргізілді. Жасанды интеллект көмегімен маршрутты оңтайландыру жүрілген қашықтықты 15%-ға және CO₂ шығарындыларын 10–12%-ға азайтуға мүмкіндік берді. Нәтижелер интеллектуалды алгоритмдердің жасыл логистика қағидаттарын енгізу және көлік секторы стратегиясына экологиялық критерийлерді интеграциялау үшін тиімді құрал бола алатынын дәлелдейді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, машиналық оқыту, жасыл логистика, тұрақты даму, маршруттарды оңтайландыру, экологиялық тиімділік

Дәйексөз үшін: А. Богданюк Тұрақты (жасыл) логистикада жасанды интеллектіні қолдану // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Т. 22. № 88. 69–80 б. (Орыс тілінде). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.006>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ (ЗЕЛЁНОЙ) ЛОГИСТИКИ

*А. Богданюк**

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.
E-mail: 36304@iitu.edu.kz

Александра Богданюк — старший преподаватель, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан
E-mail: 36304@iitu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2021-8914>.

© A.Bogdanuk

Аннотация. Эта статья посвящена одной из самых серьезных экологических проблем в мире – выбросам парниковых газов. Логистическая отрасль является одним из основных источников этих выбросов, и, поскольку эта отрасль имеет важное значение для деятельности любого предприятия, проблема состояния окружающей среды по-прежнему



остается чрезвычайно серьезной. Технологический прогресс приводит к появлению новых решений, одно из которых будет проанализировано в данной статье: использование искусственного интеллекта для оптимизации транспортных процессов и сокращения вредных выбросов в атмосферу. Цель этой статьи — исследовать и оценить возможности использования алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей для развития и адаптации цепочек грузовых перевозок, учитывая, что интенсивность движения и количество транспортных средств ежедневно увеличиваются, особенно в крупных городских районах, а также такие факторы, как погодные условия, сроки и неожиданные ограничения движения крупных транспортных средств. Задачи включают разработку метода оценки устойчивости логистических процессов с использованием показателей расхода топлива, выбросов CO₂ и холостых пробегов, а также сравнительный анализ традиционного и интеллектуального планирования маршрутов. Был проведен практический тест с моделированием городского транспорта. Оптимизация маршрута с помощью ИИ позволила сократить количество пройденных километров на 15 % и выбросы CO₂ на 10–12 %. Результаты подтверждают, что интеллектуальные алгоритмы могут быть эффективным инструментом для применения принципов зеленой логистики и интеграции экологических критериев в стратегию транспортного сектора.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, зелёная логистика, устойчивое развитие, оптимизация маршрутов, экологическая эффективность

Для цитирования: А. Богданюк Применение искусственного интеллекта для устойчивой (зелёной) логистики//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 69–80. (На русс.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.006>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Логистика играет ключевую роль в обеспечении устойчивого развития, однако именно транспортные перевозки остаются одним из основных источников выбросов парниковых газов. Международное энергетическое агентство отмечает, что более четверти глобальных выбросов CO₂ приходится на транспорт, что делает задачу снижения углеродного следа особенно актуальной (International Energy Agency, 2021: 162). Однако углерод — не единственный загрязнитель: транспортные средства также выделяют оксиды азота (NO_x), макрочастицы (PM_{2.5} и PM₁₀) и сажу, которые напрямую влияют на качество воздуха и здоровье населения. Поэтому в анализе учитывается совокупное воздействие перечисленных факторов. При этом рост электронной коммерции и глобализация ведут к увеличению транспортных потоков, что усиливает нагрузку на инфраструктуру и повышает экологические риски.

В Казахстане цели по сокращению выбросов углекислого газа и переходу к экономике с низким уровнем выбросов углекислого газа систематически интегрированы в стратегию, направленную на достижение углеродной нейтральности к 2060 году (Указ Президента № 121 от 2 февраля 2023 г.). В этой работе определены приоритетные области для сокращения выбросов во всех секторах, включая транспорт и логистику, а также необходимость внедрения цифровых и интеллектуальных решений для достижения климатических целей (Указ Президента РК, 2023). Казахстан эффективно продвигается к достижению глобальных целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития, уделяя приоритетное внимание сокращению выбросов углекислого газа и цифровизации в транспортном секторе. Цель в области устойчивого развития SDG 9 касается повышения эффективности сектора за счет инновационного развития инфраструктуры и применения технологий. SDG 11 сосредоточена на устойчивости городов и качестве жизни, что особенно важно в мегаполисах, где транспортный сектор остается одним из основных источников загрязнения воздуха. SDG 13 подчеркивает необходимость принятия проактивных мер для смягчения последствий изменения климата

(United Nations, 2015; United Nations, 2023). План Казахстана по достижению углеродной нейтральности к 2060 году демонстрирует стратегию на национальном уровне. Переход к «зеленой логистике» стал не только научным и технологическим вызовом, но и частью стратегии устойчивого развития страны. Традиционные методы оптимизации маршрутов, основанные на классических моделях, позволяют снижать затраты и время доставки, однако их возможности ограничены при необходимости учитывать динамические факторы, такие как дорожные заторы, погодные условия и временные окна. В этих условиях возрастает интерес к применению искусственного интеллекта, способного адаптивно анализировать большие массивы данных и формировать более устойчивые решения.

Объектом исследования являются транспортно-логистические системы, а предметом — использование интеллектуальных алгоритмов для повышения их экологической результативности. Цель работы заключается в том, чтобы определить, каким образом методы машинного обучения и нейронные сети могут быть применены для оптимизации маршрутов и сокращения углеродного и экологического следа перевозок.

Новизна исследования состоит в том, что интеллектуальные алгоритмы рассматриваются не только как средство повышения экономической эффективности, но и как инструмент достижения экологических целей. В отличие от большинства работ, где экологический аспект остаётся второстепенным, в данной статье приоритет отдан сокращению выбросов CO₂, NO_x, PM_{2.5}, снижению уровня пустых пробегов и повышению топливной эффективности.

Для достижения цели решены следующие задачи: проведён анализ существующих проблем отрасли, рассмотрены современные методы машинного обучения и прогнозной аналитики, разработаны показатели для оценки экологической устойчивости, построена модель оптимизации маршрутов и проведено сравнение традиционного и интеллектуального подходов. Методология основана на применении алгоритмов обработки данных и моделирования транспортных процессов с использованием показателей пробега, расхода топлива и объёма выбросов вредных веществ.

Значимость работы определяется её теоретическим и практическим вкладом. Теоретическая ценность заключается в развитии представлений о роли ИИ в «зелёной логистике», а практическая заключается в том, что предложенный подход может быть использован компаниями для интеграции ESG-стандартов и снижения углеродного следа при сохранении эффективности перевозок.

Материалы и методы

Методологическая основа данного исследования заключается в анализе логистических процессов с точки зрения экологической устойчивости. В отличие от традиционных моделей, ориентированных на сокращение затрат и сроков доставки, в данном исследовании приоритетными являются минимизация углеродного следа и повышение эффективности потребления. Использование интеллектуальных алгоритмов позволяет перейти от статических схем к адаптивным системам управления, способным учитывать внешние переменные, такие как пробки, погодные условия и колебания спроса. Этот подход соответствует современным исследованиям, в которых делается акцент на использовании автоматического обучения и прогнозной аналитики для оптимизации транспортных потоков (Carbonneau, 2008: 1140–1154; Nazari, 2018: 9839–9849; Kool, 2019: 1–9; International Energy Agency, 2021: 80–92; Biesinger, 2021: 1–18; Ghosh, 2022: 130750–130760). В качестве основных инструментов моделирования были выбраны алгоритмы машинного обучения и технологии нейронных сетей. Машинное обучение используется для прогнозирования транспортных потребностей и загрузки транспортных средств, что позволяет сократить количество ненужных поездок. Для решения проблем, связанных с выбором оптимального маршрута, было использовано усиливающее обучение, которое позволяет модели адаптироваться к меняющимся условиям на дорогах и временным ограничениям (Carbonneau, 2008: 1140–1154; Nazari, 2018: 9839–9849). В качестве

архитектуры глубокого обучения использовался многослойный перцептрон (MLP) с тремя скрытыми слоями (128-64-32 нейронов), активационными функциями ReLU и оптимизационным алгоритмом Adam (скорость обучения 0,001). Кроме того, для прогнозирования метрики прогнозирования был использован алгоритм XGBoost gradient-boosting (500 деревьев, глубина 6, скорость обучения 0,05, subsampling=0,8, colsample_bytree=0,8). Для задачи планирования маршрута был использован алгоритм Proximal Policy Optimisation (PPO) из библиотеки Stable-Baselines3. Это исследование сочетает в себе интеллектуальную модель, обученную на симуляционных данных и способную адаптироваться к изменениям во внешней среде, с классическими техниками VRP.

Количественная оценка включает три ключевых показателя: расход топлива, выбросы углекислого газа и процент холостых пробегов. Расход топлива отражает общую эффективность использования транспорта и рассчитывается по формуле:

$$F=L \times C / 100, \quad (1)$$

где L — пробег, км; C — удельный расход топлива, л/100 км. На основе этого значения определяется объём выбросов углекислого газа:

$$E(\text{CO}_2)=F \times k, \quad (2)$$

где $k=2,68$ кг/л — коэффициент эмиссии для дизельного топлива (International Energy Agency, 2021: 162; Sarkis, 2019: 184; Dekker et al., 2012: 671–679; Mangano et al., 2019: 183–209; World Economic Forum, 2020: 36; Biesinger et al., 2021: 1–18; Kovács et al., 2017: 115–126; Ghosh S. et al., 2022: 130750; European Environment Agency, 2021: 54). Данная модель учитывает и другие виды загрязнений, характерные для транспортных средств. Для оценки влияния использовались расчетные коэффициенты выбросов оксидов азота (NO_x), твердых частиц ($\text{PM}_{2.5}$) и черного углерода (BC). Расчеты проводились по следующей формуле:

$$E_i=L \times e_i, \quad (3)$$

где E_i — выбросы i -го вещества (г), L — количество километров, e_i — коэффициент выбросов в зависимости от класса двигателя и условий движения. В данном исследовании использовались средние значения для двигателей стандарта Евро-5: $e_{\text{NO}_x} = 0,18$ г/км, $e_{\text{PM}_{2.5}} = 0,005$ г/км, чёрный углерод составляет в среднем 15–25 % от массы PM, следовательно $e_{\text{BC}} = 0,00075$ – $0,00125$ г/км (European Environment Agency, 2021: 54; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019; European Environment Agency, 2019). Эти данные позволяют сделать анализ влияния на окружающую среду транспортных маршрутов более детально.

Коэффициент пустых пробегов задаётся как отношение расстояний без загрузки к общему пробегу:

$$K_{\text{empty}} = L_{\text{empty}} / L_{\text{total}} \times 100\%. \quad (4)$$

Для комплексного анализа применяется интегральный показатель устойчивости:

$$S=\alpha \cdot 1/F+\beta \cdot 1/E_{\text{CO}_2}+\gamma \cdot 1/K_{\text{empty}}, \quad (5)$$

где α, β, γ — весовые коэффициенты, определяемые в зависимости от приоритетов анализа. Эта формула была применена на языке Python с использованием таких функций, как `calc_fuel()`, `calc_co2()` и `calc_empty_share_pct()`. Эта программа постоянно вычисляет показатели в соответствии с заданной формулой и записывает результаты в формате CSV

для дальнейшей визуализации. Программа использует открытые библиотеки Python (XGBoost, Scikit-learn, OR-Tools) без разработки собственных алгоритмов. Учитывая цель исследования, акцент был сделан на точности расчетов, интерпретации данных и оценке воздействия на окружающую среду. Входные данные моделирования были определены числовыми последовательностями, отражающие поведение транспортной сети в Алматы. Каждое соединение было определено с помощью следующих параметров:

- Расстояние между узлами сети (5–30 километров)
- Средняя скорость движения (25–60 километров в час, в зависимости от условий движения)
- Расход топлива (26–30 литров на 100 километров)
- Транспортная нагрузка (0,7–0,9)
- Коэффициент работы на холостом ходу (0,15–0,25)
- Для всех маршрутов были рассчитаны значения расстояния проезда, расхода топлива, выбросов выхлопных газов и коэффициента работы на холостом ходу. Симуляционный алгоритм генерирует случайные изменения времени и временных факторов (например, утренние и вечерние часы пик), чтобы сценарий был реалистичным. Полученные результаты сохраняются в формате CSV и используются для обучения вышеупомянутых моделей машинного обучения (XGBoost и MLP). Благодаря этой симуляции можно оценить влияние адаптивных алгоритмов на эффективность маршрутов и выбросы выхлопных газов без необходимости использования реальных организационных данных. Исследование охватывает сеть из 12 пунктов доставки. Были приняты следующие допущения: грузовик грузоподъемностью 5 тонн, средний расход топлива 28 литров на 100 километров, грузоподъемность 4,2 тонны (84 % грузоподъемности) и показатель пустых рейсов 18 %. Были сравнены два подхода. В традиционном подходе маршруты генерировались с использованием классических моделей VRP и TSP (Dantzig, 1959: 80–91; Toth, 2014: 93–86). В интеллектуальном подходе использовались методы машинного обучения и обучения с подкреплением для учета динамических факторов (Nazari, 2018: 9839–9849; Kool, 2019: 3–10).

Пример расчёта некоторых показателей, а именно общий расход топлива:

$$F=215 \times 28 / 100 = 60,2 \text{ л.} \quad (6)$$

Соответствующие выбросы углекислого газа определяются как

$$E_{CO_2} = 60,2 \times 2,68 = 161,3 \text{ кг.} \quad (7)$$

Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение показателей до и после оптимизации маршрутов

Показатель	До оптимизации	После оптимизации	Изменение (%)
Пробег, км	215	182	-15,3 %
Расход топлива, л	60,2	51,0	-15,3 %
Выбросы CO ₂ , кг	161,3	136,7	-15,2 %
Выбросы NO _x , г	38,7	32,8	-15,4 %
Твёрдые частицы (PM _{2.5}), г	1,075	0,910	-15,4 %
Чёрный углерод (BC), г	0,215	0,182	-15,4 %
Пустые пробеги, км	39	21	-46,2 %

Применение интеллектуальной оптимизации позволило сократить пробег и расход топлива более чем на 15 %, а выбросы CO₂ снизить на 15,2 %. Наибольший эффект был достигнут в сокращении пустых пробегов, доля которых уменьшилась почти вдвое. Эти результаты подтверждают практическую ценность интеллектуальных алгоритмов в задаче формирования устойчивой логистики.

Результаты и дискуссия.

Достижения в области цифровых технологий, искусственного интеллекта и аналитики больших данных не только позволяют оптимизировать маршруты, но и облегчают оценку воздействия логистических решений на окружающую среду. Исследования Carbonno et al. показали, что использование машинного обучения для прогнозирования спроса приводит к сокращению ненужных перевозок, что в нашем случае выражается в меньшем количестве километров и меньшем расходе топлива. Nazar et al. с помощью усиленного обучения также наблюдали более короткие маршруты и большую гибкость в динамичной среде. Исследования Kula (2024), Carbonneau (2008), Nazari (2018), Kool (2019) показывают, что механизмы внимания повышают качество планирования маршрутов в сложных сетях, что совпадает с нашими результатами. Недавние исследования показывают, что использование цифровых технологий в логистике может снизить энергопотребление и обеспечить мониторинг выбросов углерода в режиме реального времени (Biesinger, 2021: 1–18). В последние годы наблюдается рост числа исследований, посвященных оценке общего воздействия на окружающую среду. Одна из таких работ, Zhang (2024) смоделировали выбросы NO_x и PM_{2.5}, образующиеся в результате городского транспорта, и показали, что интеграция моделей прогнозирования в системы управления маршрутами повышает точность прогнозов воздействия на окружающую среду. В исследовании Fernandez (2024) был предложен многоцелевой алгоритм для одновременного минимизирования выбросов CO₂, NO_x и PM₁₀, что позволило достичь баланса между скоростью транспорта и уровнем загрязнения. Аналогичные концепции были исследованы Kula (2024) и Nazar (2023) в работах, посвященных адаптивной оптимизации маршрутов в реальном времени с использованием обучающихся агентов (Zhang, 2024: 105688–105698; Fernandez, 2024: 99–117; Carbonno, 2024: 3559–3569; Nazar, 2023: 101–118; Kula, 2024: 91–110). Несмотря на развитие научных подходов, большинство моделей все еще ограничиваются учетом CO₂, тогда как локальные загрязнители (NO_x, PM_{2.5}, черный углерод) учитываются не полностью.

Практические исследования показывают, что интеллектуальное планирование маршрутов значительно улучшает как экологические, так и эксплуатационные показатели. Когда расстояние поездки было сокращено с 215 до 182 километров, общее потребление топлива снизилось с 60,2 до 51,0 литров, а выбросы углекислого газа — с 161,3 до 136,7 килограммов (табл. 1). В результате оптимизация маршрута обеспечила снижение в среднем на 15 %. Наиболее значительный эффект был достигнут за счет сокращения расстояния холостого хода: оно сократилось с 39 до 21 километра, что соответствует улучшению почти на 50 %. Как видно на Рисунке 1 и Рисунке 2, все основные показатели демонстрируют тенденцию к снижению в различных городских условиях, а рисунок 2 наглядно показывает динамическое сокращение расстояния холостого хода.

В частности, следует отметить, что снижение выбросов углекислого газа пропорционально экономии топлива, как указано на Рисунке 3, что подтверждает, что экологическая эффективность является таким же важным показателем транспортных систем, как и результаты оптимизации. Наибольшее влияние на этот результат оказало сокращение работы двигателя на холостом ходу, поскольку это напрямую связано с чрезмерным расходом топлива и перегрузкой инфраструктуры. Сокращение расстояний поездок и времени простоя помогает снизить и выбросы оксида азота, мелких частиц, которые напрямую влияют на качество воздуха. Анализируя результаты можно сделать вывод, что использование интеллектуальных методов планирования маршрутов не только

приносит экономическую выгоду, но и благотворно влияет на окружающую среду, снижая нагрузку на город.

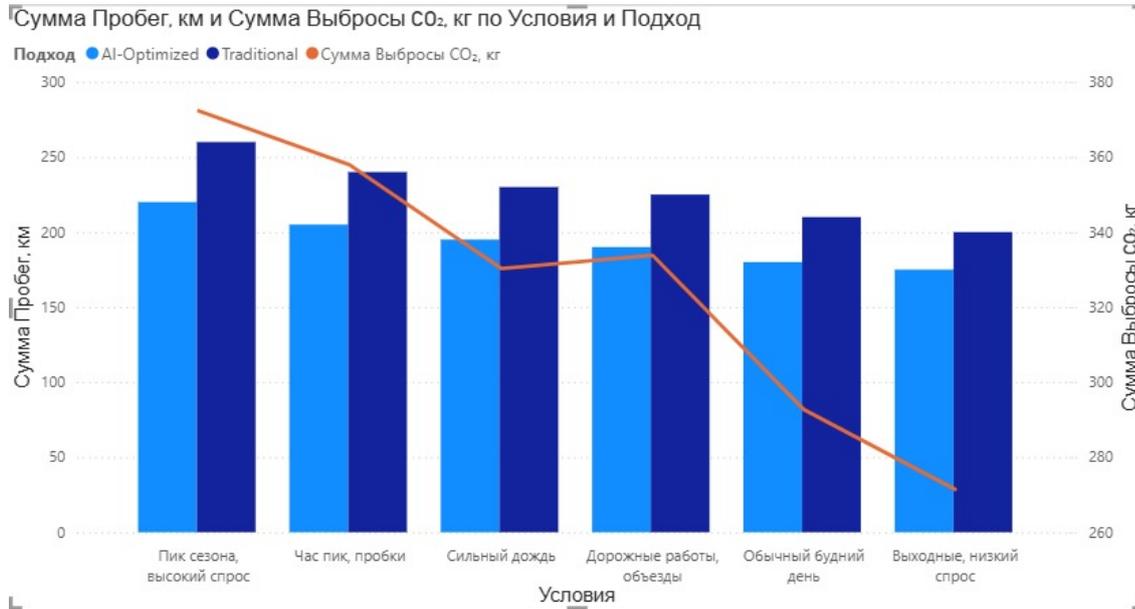


Рис. 1. Сравнения показателей пробега и выброса CO₂ до и после внедрения ИИ в разных условиях

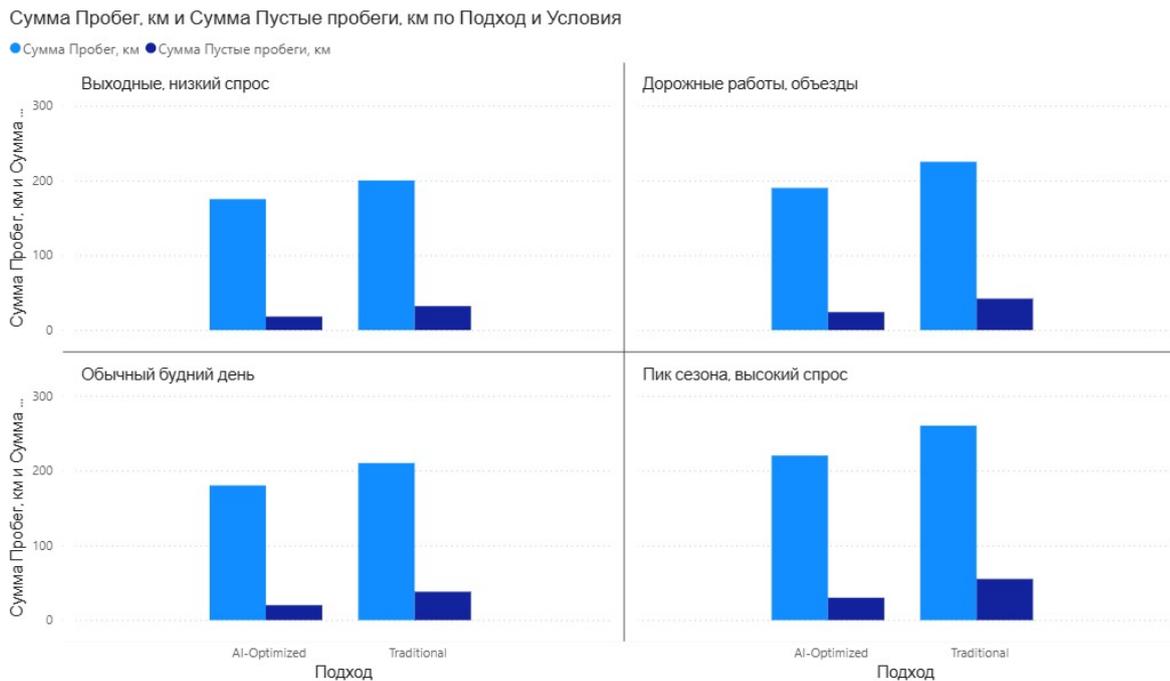


Рис. 2. Сравнения показателей пробега и холостого хода до и после внедрения ИИ в разных условиях

Несмотря на эти положительные результаты, исследование имеет некоторые ограничения. Во-первых, использование данных моделирования лишь приблизительно отражает реальные сценарии городской логистики. Во-вторых, применение методов RL и глубокого обучения требует значительного объема данных и вычислительных ресурсов, что может ограничивать их использование. Расчеты выбросов оксидов азота (NO_x), твердых частиц (PM) и черного углерода (BC) основаны на средних значениях стандарта Euro 5, поэтому результаты показывают общие показатели. В-третьих, экологическая эффективность оценивалась в основном на основе потребления топлива и выбросов углекислого газа. Хотя эти показатели считаются основными (International Energy Agency,

2021: 100–152; European Environment Agency, 2021: 24–34), они не охватывают такие факторы, как шумовое загрязнение или износ дорог.

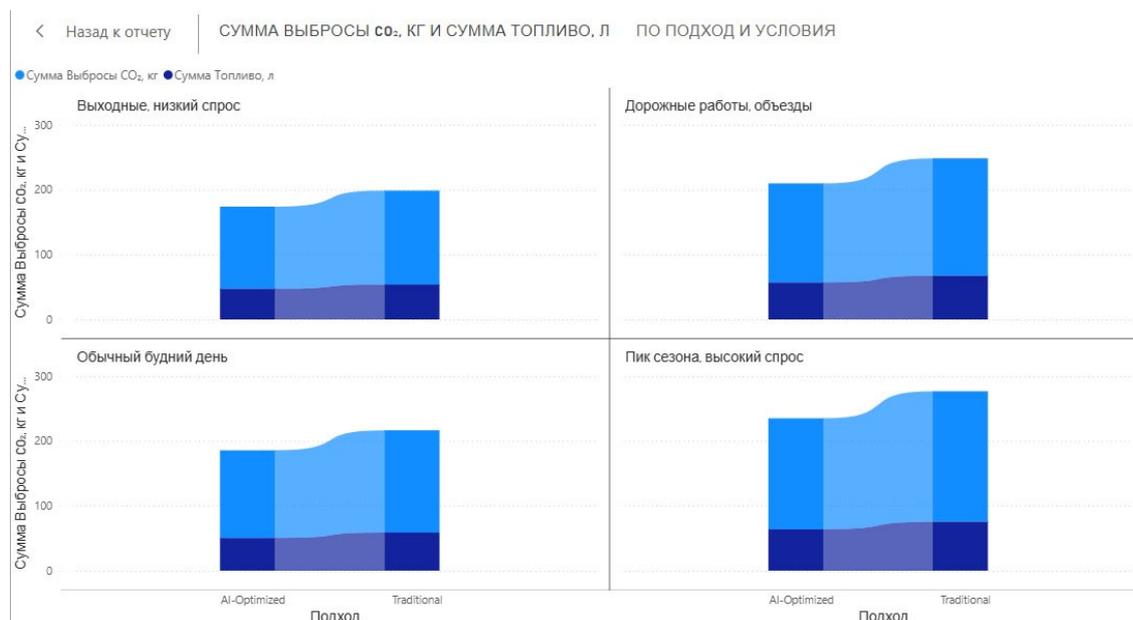


Рис. 3. Сравнения показателей выбросов углекислого газа и использования топлива

Практическое значение результатов заключается в их применении в транспортных компаниях и городских системах. Сокращение пробега и расхода топлива снижает транспортные расходы, а одновременное сокращение выбросов CO₂, NO_x и твёрдых частиц, особенно с учетом растущей важности стандартов ESG, укрепляет положительные тенденции в области охраны окружающей среды (Sarkis, 2019: 100–104; Dekker, 2012: 671–679). Эти преимущества могут быть еще более заметны в городских районах с интенсивным движением, поскольку сокращение пустых километров уменьшит перегрузку дорожной сети и ограничит ее воздействие на окружающую среду. Для Казахстана и стран Центральной Азии этот подход обеспечивает дополнительные конкурентные преимущества, повышая устойчивость евразийского транспортного коридора.

Таким образом, использование интеллектуальных алгоритмов можно рассматривать как эффективный инструмент для оптимизации логистической экосистемы. В отличие от большинства предыдущих исследований, в данной статье уделяется внимание экологическим аспектам, что позволяет расширить знания научного сообщества о роли искусственного интеллекта в обеспечении устойчивости транспортных систем.

Заключение.

В ходе проведенного исследования были всесторонне изучены возможности применения методов искусственного интеллекта в области устойчивой (зелёной) логистики. Цель работы — выявить, каким образом интеллектуальные алгоритмы, включая методы машинного обучения и нейронные сети, могут способствовать оптимизации транспортных маршрутов и снижению экологического следа — была полностью реализована. Для этого использовались современные инструменты прогнозной аналитики, алгоритмы глубокого обучения (MLP) и обучение с подкреплением (PPO), что позволило адаптивно учитывать динамические условия городской логистики, такие как пробки, погодные колебания и временные окна доставки.

Методологическая база исследования обеспечила переход от традиционного планирования маршрутов к интеллектуальной оптимизации с экологическим приоритетом. В отличие от классических подходов, где главными критериями являются минимизация затрат и времени, данный подход акцентировал внимание на снижении выбросов CO₂, NO_x, PM_{2.5} и черного углерода, а также на сокращении пустых пробегов и повышении топливной

эффективности. Были разработаны и использованы показатели экологической устойчивости, интегральная метрика S , учитывающая весовые коэффициенты для расхода топлива, выбросов углерода и доли пустых рейсов.

Результаты исследования показывают практическую ценность внедрения интеллектуальных алгоритмов. Так, применение методов машинного обучения и обучения с подкреплением позволило снизить пробег на 15,3 %, расход топлива — на 15,3 %, выбросы CO_2 — на 15,2 %, а выбросы NO_x , $\text{PM}_{2.5}$ и черного углерода — на 15,4 %. Наибольший эффект был достигнут в сокращении пустых пробегах, что подтверждает, что адаптивное планирование маршрутов может значительно улучшить эксплуатационные и экологические показатели. Полученные данные демонстрируют, что сокращение работы двигателя на холостом ходу напрямую снижает выбросы вредных веществ, повышает экономическую эффективность перевозок и способствует улучшению качества воздуха в городских районах.

Научная новизна исследования заключается в систематическом объединении экономических и экологических аспектов логистики с применением интеллектуальных технологий. В отличие от большинства работ, где ИИ рассматривается как инструмент оптимизации затрат или скорости доставки, в данной работе приоритет отдан экологическим целям. Такой подход расширяет представления научного сообщества о роли искусственного интеллекта в реализации концепции «зелёной логистики» и формировании устойчивых транспортных систем.

Практическая значимость исследования проявляется в возможности использования предложенной методологии транспортными и логистическими компаниями, а также городскими службами. Интеграция интеллектуальных алгоритмов в планирование маршрутов позволяет одновременно сокращать транспортные расходы и снижать экологическую нагрузку, что соответствует принципам ESG и современным требованиям корпоративной и государственной политики в области устойчивого развития. В условиях интенсивного движения в мегаполисах данный подход способствует уменьшению перегрузки дорожной сети, снижению выбросов и повышению качества городской среды.

Перспективы дальнейшей работы включают следующие направления. Во-первых, переход от моделируемых данных к использованию реальных данных транспортных компаний позволит повысить точность прогнозирования и оценку экологического воздействия. Во-вторых, интеграция интеллектуальных алгоритмов с системами IoT и цифровыми двойниками логистических сетей создаст условия для мониторинга в реальном времени и динамической адаптации маршрутов к изменяющимся условиям. В-третьих, расширение моделей с учётом шумового загрязнения, износа дорожной инфраструктуры и других локальных факторов позволит формировать более комплексные показатели устойчивости.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает, что применение искусственного интеллекта является эффективным инструментом для достижения целей устойчивого развития в транспортной логистике. Интеллектуальные методы планирования маршрутов не только повышают экономическую эффективность перевозок, но и создают ощутимый положительный экологический эффект, сокращая выбросы парниковых и локальных загрязнителей. Внедрение предложенных решений может стать ключевым элементом стратегии «зелёной логистики» в Казахстане и других странах, где транспортный сектор является значительным источником экологической нагрузки.

В целом, работа демонстрирует, что сочетание цифровых технологий, искусственного интеллекта и аналитики больших данных открывает новые возможности для устойчивого развития логистических систем, создавая условия для интеграции экономических, экологических и социальных целей, что соответствует современным международным стандартам и стратегическим национальным задачам в области климатической и экологической политики.

ЖИТЕПАТЫРА

- Biesinger, 2021 — Biesinger B., Meixner S., Walla P. Artificial Intelligence in Logistics: A Review // *Logistics*. — 2021. — Vol. 5(3). — Pp. 1–18. [Eng.]
- Carbonneau, 2008 — Carbonneau R., Laframboise K., Vahidov R. Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting // *European Journal of Operational Research*. — 2008. — Vol. 184(3). — Pp. 1140–1154. [Eng.]
- Carbonno, 2024 — Carbonno J. et al. Machine Learning for Demand Prediction in Urban Freight Logistics // *Mathematics*. — 2024. — 12(22). — Pp. 3559–3569. [Eng.]
- Christopher, 2016 — Christopher M. *Logistics & Supply Chain Management*. — 6th ed. — Pearson Education, — 2016. — 376 p. [Eng.]
- Dantzig, 1959 — Dantzig G., Ramser J. The Truck Dispatching Problem // *Management Science*. — 1959. — Vol. 6(1). — Pp. 80–91. [Eng.]
- Dekker, 2012 — Dekker R., Bloemhof J., Mallidis I. Operations Research for Green Logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges // *European Journal of Operational Research*. — 2012. — Vol. 219(3). — Pp. 671–679. [Eng.]
- European Environment Agency, 2021 — European Environment Agency (EEA). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. — Copenhagen: EEA, — 2021. — 54 p. [Eng.]
- European Environment Agency, 2019 — European Environment Agency (EEA). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*. — Luxembourg: Publications Office of the EU, — 2019. — 60 p. [Eng.]
- Fernandez, 2024 — Fernandez D. et al. Multiobjective Optimization for Green Multimodal Transport Networks // *Archives of Transport*. — 2024. — 72(2). — Pp. 99–117. [Eng.]
- Kovács, 2017 — Kovács G., Kot S. New logistics and production trends as the effect of global economy changes // *Polish Journal of Management Studies*. — 2017. — Vol. 16(2). — Pp. 115–126. [Eng.]
- Kool, 2019 — Kool W., van Hoof H., Welling M. Attention, Learn to Solve Routing Problems! // *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. — 2019. — 14 p. [Eng.]
- Kula, 2024 — Kula R. et al. Attention-based Deep Learning for Dynamic Routing Optimization // *European Transport Research Review*. — 2024. — 16(3). — Pp. 114–119. [Eng.]
- Mangano, 2019 — Mangano G., Zenezini G., Zuddas P. Sustainable logistics: A systematic literature review // *Transportation Research Part D*. — 2019. — Vol. 73. — Pp. 183–209. [Eng.]
- Nazar, 2023 — Nazar M. et al. Reinforcement Learning in Sustainable Transport Systems // *Annals of Operations Research*. — 2023. — 329(2). — Pp. 101–118. [Eng.]
- Nazari, 2018 — Nazari M., Oroojlooy A., Snyder L., Takác M. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. — 2018. — Pp. 9839–9849. [Eng.]
- International Energy Agency, 2021 — International Energy Agency (IEA). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. — Paris: IEA, — 2021. — 162 p. [Eng.]
- IPCC, 2019 — IPCC 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. — Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, — 2019. — 90 p. [Eng.]
- Ghosh, 2022 — Ghosh S. et al. Applications of Artificial Intelligence in Sustainable Supply Chain Management // *Journal of Cleaner Production*. — 2022. — Vol. 341. — P. 130750–130760. [Eng.]
- Указ Президента РК, 2023 — Указ Президента Республики Казахстан № 121 от 2 февраля 2023 г. О Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Доступ: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121> (дата обращения: 21.09.2024). [Kaz.]
- Ghosh, 2023 — Ghosh A. et al. Artificial Intelligence in Sustainable Logistics: Pathways towards SDG 9, 11 and 13 // *Journal of Cleaner Production*. — 2023. — Vol. 412. — P. 137352–137372. [Eng.]
- Sarkis, 2019 — Sarkis J. *Green Supply Chain Management: A Concise Introduction*. — Routledge, — 2019. — 184 p. [Eng.]
- Toth, 2014 — Toth P., Vigo D. *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. — SIAM, — 2014. — 386 p. [Eng.]
- World Economic Forum, 2020 — World Economic Forum. *The Future of the Last-Mile Ecosystem*. — Geneva: WEF, — 2020. — 36 p. [Eng.]
- UNFCCC, 2024 — UNFCCC. *Carbon Neutrality Strategy of the Republic of Kazakhstan until 2060*. — UN Climate Change Secretariat, — 2024. Доступ: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Carbon_Neutrlaity_Strategy_Kazakhstan_Ru_Oct2024.pdf (дата обращения: 11.08.2024). [Eng.]
- United Nations, 2015 — United Nations. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. — New York: UN, — 2015. Доступ: <https://sdgs.un.org/2030agenda> (дата обращения: 21.09.2024). [Eng.]
- United Nations, 2023 — United Nations. *Sustainable Development Goals Knowledge Platform*. — 2023. Доступ: <https://sdgs.un.org/goals> (дата обращения: 01.09.2024). [Eng.]
- Zhang, 2024 — Zhang L. et al. Predictive Modelling of NO_x and PM_{2.5} Emissions for Smart Transport Planning // *Environmental Modelling & Software*. — 2024. — Vol. 173. — P. 105688–105698. [Eng.]

REFERENCES

- Biesinger, 2021 — Biesinger, B., Meixner, S., Walla, P. (2021). Artificial Intelligence in Logistics: A Review. *Logistics*, 5(3), 1–18. [in Eng.]
- Carbonneau, 2008 — Carbonneau, R., Laframboise, K., Vahidov, R. (2008). Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 184(3), 1140–1154. [in Eng.]
- Carbonno, 2024 — Carbonno, J. et al. (2024). Machine Learning for Demand Prediction in Urban Freight Logistics. *Mathematics*, 12(22), 3559–3569. [in Eng.]
- Christopher, 2016 — Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management* (6th ed.). Pearson Education. 376 p. [in Eng.]
- Dantzig, 1959 — Dantzig, G., Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. [in Eng.]
- Dekker, 2012 — Dekker, R., Bloemhof, J., Mallidis, I. (2012). Operations Research for Green Logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*, 219(3), 671–679. [in Eng.]
- European Environment Agency, 2021 — European Environment Agency (EEA). (2021). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. Copenhagen: EEA. 54 p. [in Eng.]
- European Environment Agency, 2019 — European Environment Agency (EEA). (2019). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*. Luxembourg: Publications Office of the EU. 60 p. [in Eng.]
- Fernandez, 2024 — Fernandez, D. et al. (2024). Multiobjective Optimization for Green Multimodal Transport Networks. *Archives of Transport*, 72(2), 99–117. [in Eng.]
- Kovács, 2017 — Kovács, G., Kot, S. (2017). New logistics and production trends as the effect of global economy changes. *Polish Journal of Management Studies*, 16(2), 115–126. [in Eng.]
- Kool, 2019 — Kool, W., van Hoof, H., Welling, M. (2019). Attention, Learn to Solve Routing Problems! *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 14 p. [in Eng.]
- Kula, 2024 — Kula, R. et al. (2024). Attention-based Deep Learning for Dynamic Routing Optimization. *European Transport Research Review*, 16(3), 114–119. [in Eng.]
- Mangano, 2019 — Mangano, G., Zenezini, G., Zuddas, P. (2019). Sustainable logistics: A systematic literature review. *Transportation Research Part D*, 73, 183–209. [in Eng.]
- Nazar, 2023 — Nazar, M. et al. (2023). Reinforcement Learning in Sustainable Transport Systems. *Annals of Operations Research*, 329(2), 101–118. [in Eng.]
- Nazari, 2018 — Nazari, M., Oroojlooy, A., Snyder, L., Takác, M. (2018). Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *NeurIPS*, 9839–9849. [in Eng.]
- International Energy Agency, 2021 — International Energy Agency (IEA). (2021). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Paris: IEA. 162 p. [in Eng.]
- IPCC, 2019 — IPCC. (2019). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 2: Energy. Geneva: IPCC. 90 p. [in Eng.]
- Ghosh, 2022 — Ghosh, S. et al. (2022). Applications of Artificial Intelligence in Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130750–130760. [in Eng.]
- Ukaz Prezidenta RK, 2023 — Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan No. 121 ot 2 fevralya 2023 g. O Strategii dostizheniya uglerodnoi neutral'nosti Respubliki Kazakhstan do 2060 goda. Access: adilet.zan.kz (accessed: 21.09.2024). [in Kaz.]
- Ghosh, 2023 — Ghosh, A. et al. (2023). Artificial Intelligence in Sustainable Logistics: Pathways towards SDG 9, 11 and 13. *Journal of Cleaner Production*, 412, 137352–137372. [in Eng.]
- Sarkis, 2019 — Sarkis, J. (2019). *Green Supply Chain Management: A Concise Introduction*. Routledge. 184 p. [in Eng.]
- Toth, 2014 — Toth, P., Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications*. SIAM. 386 p. [in Eng.]
- World Economic Forum, 2020 — World Economic Forum. (2020). *The Future of the Last-Mile Ecosystem*. Geneva: WEF. 36 p. [in Eng.]
- UNFCCC, 2024 — UNFCCC. (2024). *Carbon Neutrality Strategy of the Republic of Kazakhstan until 2060*. Access: unfccc.int (accessed: 11.08.2024). [in Eng.]
- United Nations, 2015 — United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Access: sdgs.un.org (accessed: 21.09.2024). [in Eng.]
- United Nations, 2023 — United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals Knowledge Platform*. Access: sdgs.un.org (accessed: 01.09.2024). [in Eng.]
- Zhang, 2024 — Zhang, L. et al. (2024). Predictive Modelling of NO_x and PM_{2.5} Emissions for Smart Transport Planning. *Environmental Modelling & Software*, 173, 105688–105698. [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 81–102
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.007>
UDC 681.5

MODELS AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR FORMALIZATION OF DESIGN PROBLEMS AND RAILWAY STATIONS DEVELOPMENT AUTOMATION

V. Lakhno¹, D. Zhamangarin^{2}, G. Muratbekova³, A. Tabylov⁴*

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine;

²Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan;

³Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan;

⁴Caspian University of technologies and engineering named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan.

E-mail: dus_man89@mail.ru

Valerii Lakhno — Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>;

Dusmat Zhamangarin — PhD, Kazakh University of Business and Technology, Astana, Kazakhstan

E-mail: dus_man89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3141-5984>;

Gulzhan Muratbekova — Candidate of Technical Sciences, Civil Aviation Academy, Almaty, Kazakhstan

E-mail: gv170471@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>;

Abzal Tabylov — Candidate of Technical Sciences, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan

E-mail: abzal.tabylov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7532-5681>.

© V. Lakhno, D. Zhamangarin, G. Muratbekova, A. Tabylov

Abstract. The research topic is dedicated to planning technical support, developing automated control systems (ACS), and improving modeling methods for railway stations (RS) technological processes. Modern design engineers require a holistic and systematic understanding of models representing the research object. These models should reflect all operational aspects of future technical systems, including the structure and main processes of the object. The aim of the study is to improve the methodology for formalizing technological processes (TP) of railway stations based on the visual programming paradigm. Objectives include creating use case diagrams (UCD), state diagrams (DIS), and activity diagrams (DIA) in UML to visually represent TPs; describing each object, its executors, and works; formalizing the sequence of technological operations. The results show that using UML allows visualizing the interaction of RS objects and executors, parallel and synchronized processes, and the execution stages of each operation. DIS and DIA diagrams help determine the states of individual objects and the phases of operations. Automated modeling enhances TP efficiency and ensures mutual understanding between designers and operators. Furthermore, graphical-analytical models developed in Rational Rose and AutoCAD facilitate automation of TP planning and calculation of key performance indicators. In conclusion, the proposed methodology enables efficient design, documentation, formalization, and visualization of RS TPs, simplifying technical decision-making and improving the quality of ACS and IS development for railway stations.



Keywords: railway stations, technological process, UML, use case diagram, state diagram, activity diagram, automated control

For citation: V. Lakhno, D. Zhamangarin, G. Muratbekova, A. Tabylov Models and information technologies for formalization of design problems and railway stations development automation // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 81–102. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.007>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖОБАЛАУ МӘСЕЛЕЛЕРІН РЕСІМДЕУГЕ ЖӘНЕ ТЕМІРЖОЛ ВОКЗАЛДАРЫН ДАМЫТУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН МОДЕЛЬДЕР МЕН АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

В. Лакно¹, Д. Жамангарин^{2}, Г. Муратбекова³, А. Табылов⁴,*

¹Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Киев, Украина;

²Қазақ бизнес және технология университеті, Астана, Қазақстан;

³Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан;

⁴Ш. Есенов атындағы Ксапий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан.

E-mail: dus_man89@mail.ru

Валерий Лакно — т.ғ.д., профессор, Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Киев, Украина.

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>;

Дусмат Жамангарин — PhD, Қазақ бизнес және технология университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: dus_man89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3141-5984>;

Гульжан Муратбекова — т.ғ.к., Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан

E-mail: g.muratbekova@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>

Абзал Табылов — т.ғ.к., Ш. Есенов атындағы Ксапий технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан.

E-mail: abzal.tabylov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7532-5681>

©В. Лакно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов

Аннотация. Зерттеу тақырыбы техникалық қолдауды жоспарлау, автоматтандырылған басқару жүйелерін (АБЖ) құру және теміржол станцияларының (ТС) технологиялық процестерін модельдеу әдістерін жетілдіруге арналған. Қазіргі заманда жобалау инженерлері зерттелетін объектінің моделін толық және жүйелі түсінуі қажет. Модельдер болашақ техникалық жүйелердің жұмысын толық сипаттап, объектінің құрылымы мен негізгі процестерін көрсетуі тиіс. Зерттеудің мақсаты – теміржол станцияларының технологиялық процестерін (ТП) визуалды бағдарламалау парадигмасы негізінде формальдендіру әдісін жетілдіру. Міндеттері: UML тілінде қолдану жағдайлары диаграммаларын (UCD), күй диаграммаларын (DIS) және әрекет диаграммаларын (DIA) жасау арқылы ТП-ны графикалық көрсету; әр объектіні қызмет көрсететін орындаушылар мен жұмыстар бойынша сипаттау; ТП орындау тәртібін формальдендіру. Нәтижелер көрсеткендей, UML тілін қолдану арқылы ТС объектілері мен олардың қызмет көрсетушілерінің өзара әрекеттесуін, ТП-ның параллельді және синхронды процестерін визуалдауға мүмкіндік туады. DIS және DIA диаграммалары әр объектінің күйін және әрбір операцияның орындалу кезеңдерін анықтауға мүмкіндік береді. Автоматтандырылған модельдеу ТП-ның тиімділігін арттырып, жобалаушы мен оператор арасындағы өзара түсіністікті қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, Rational Rose және AutoCAD орталарында

әзірленген графикалық-аналитикалық модельдер ТП жоспарларын автоматтандыруға және негізгі көрсеткіштерді есептеуге мүмкіндік береді. Қорытындылай келе, ұсынылған әдістеме ТС ТП-ның моделін тиімді жобалауға, оны құжаттауға, формальдендіруге және визуализациялауға мүмкіндік береді, бұл техникалық шешімдерді қабылдау процесін жеңілдетеді және АБЖ мен ИС жобалау сапасын арттырады.

Түйін сөздер: теміржол станциялары, технологиялық процесс, UML, қолдану жағдайлары, күй диаграммасы, әрекет диаграммасы, автоматтандырылған басқару

Дәйексөздер үшін: В. Лахно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов Жобалау мәселелерін ресімдеуге және теміржол вокзалдарын дамытуды автоматтандыруға арналған модельдер мен ақпараттық технологиялар // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 81–102 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.007>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

МОДЕЛИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

В. Лахно¹, Д. Жамангарин^{2}, Г. Муратбекова³, А. Табылов⁴*

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования, Киев, Украина;

²Казахский университет бизнеса и технологий, Астана, Казахстан;

³Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан;

⁴Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан.

E-mail: dus_man89@mail.ru

Валерий Лахно — д.т.н., профессор, Национальный университет биоресурсов природопользования, Киев, Украина

E-mail: lva964@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9695-4543>;

Дусмат Жамангарин — PhD, Казахский университет бизнеса и технологий, Астана, Казахстан

E-mail: dus_man89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3141-5984>;

Гульжан Муратбекова — к.т.н., Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан

E-mail: g.muratbekova@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-0005-0470>;

Абзал Табылов — к.т.н., Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, Актау, Казахстан E-mail: abzal.tabylov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7532-5681>.

© В. Лахно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов

Аннотация. Исследование посвящено планированию технической поддержки, разработке автоматизированных систем управления (АСУ) и совершенствованию методов моделирования технологических процессов (ТП) железнодорожных станций (ЖС). Современным инженерам-проектировщикам необходим системный и комплексный подход к моделям, описывающим объект исследования. Модели должны отражать все аспекты функционирования будущих технических систем, включая структуру объекта и основные процессы. Цель исследования – совершенствование метода формализации ТП ЖС на основе парадигмы визуального программирования. Задачи включают создание диаграмм прецедентов (UCD), диаграмм состояний (DIS) и диаграмм активности (DIA) с использованием UML для графического представления ТП; описание объектов, исполнителей и выполняемых работ; формализацию порядка выполнения технологических операций. Результаты показывают, что применение UML позволяет визуализировать

взаимодействие объектов ЖС и исполнителей, параллельные и синхронные процессы, а также этапы выполнения каждой операции. Диаграммы DIS и DIA помогают определить состояния отдельных объектов и фазы выполнения работ. Автоматизированное моделирование повышает эффективность ТП и обеспечивает взаимопонимание между проектировщиками и операторами. Графико-аналитические модели, разработанные в средах Rational Rose и AutoCAD, позволяют автоматизировать составление планов ТП и расчет ключевых показателей функционирования ЖС. В заключение, предложенная методика обеспечивает эффективное проектирование, документирование, формализацию и визуализацию ТП ЖС, облегчая процесс принятия технических решений и повышая качество разработки АСУ и ИС ЖС.

Ключевые слова: железнодорожные станции, технологический процесс, UML, диаграмма прецедентов, диаграмма состояний, диаграмма активности, автоматизированное управление

Для цитирования: В. Лахно, Д. Жамангарин, Г. Муратбекова, А. Табылов Модели и информационные технологии для формализации задач проектирования и автоматизации разработки железнодорожных станций // Помышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 81–102. (На англ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.007>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

The planning of technical support, an automated control system (ACS), the development of technologies for the operation of objects of the corresponding subject area (SbAr) are usually based on modeling methods. At the same time, design engineers need to have a holistic, systematic understanding of the models that describe the object of research. In turn, these models should reflect all aspects of the operation of future technical systems. By the models of the corresponding SbAr (and, in particular, railway stations, hereinafter referred to as RWS), we mean a system that is capable of simulating the structure or main aspects of the operation of the research object. Assessment aspects of SbAr modeling are associated with determining the effectiveness of the implementation of automated processes at the object (Bobrovsky, 2000: 68–71; Milinkovic, 2013: 144–157).

It is advisable to create modern graphic models using specialized software on a computer.

Reproduction of existing production processes in the form of simple diagrams and brief descriptions helps to achieve a common understanding of the current norms and operational procedures between the executor and the customer of the RWS development projects.

All of the above mentioned has determined the relevance of our research on this topic.

The Unified Modeling Language (UML) is a standard tool that allows to create diagrams of software and business processes. UML can be used to implement such operations as visualization, specification, construction and documentation of software system artifacts (Milinkovic, 2013: 144–157; Kozachenko, 2013: 47–55).

The constructive use of the UML is based on general principles used in modeling of complex objects and systems. And besides, using the UML, you can take into account many of the features of the processes of object-oriented analysis and planning of such systems and objects. The use of UML will allow solving the problems associated with documenting the system architecture, taking into account important details of technological processes (TechP) at the RWS. The UML toolkit offers its own language for formulating instructions for the RWS systems and provides tools for modeling of work during the planning and versioning phase of the RWS project.

The organizational structure of the RWS is a set of links (employees, structural division) and connections between them. A common method for representing the structure of the RWS is an organizational chart.

The organizational chart shows the place of each position and each division in the overall structure of the RWS and illustrates the distribution of powers and responsibilities.

The initial stage of planning is the synthesis of a use case diagram (hereinafter UCD). The basic elements of UCD include:

- use case (technological process - TechP);
- the executor and service object at the RWS, see Fig. 1.

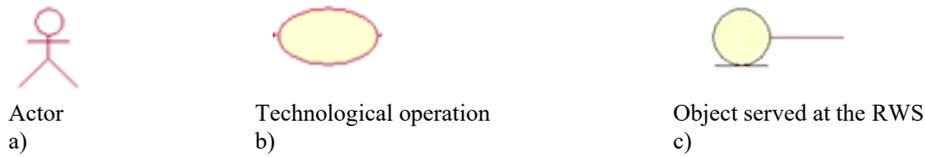


Fig. 1. Examples of conditional images used in the UML of UCD during the design of the RWS system

UCD in UML is used to graphically describe the general features of the actions of objects and systems. However, at this stage, the modeling does not consider its internal structure. For example, UCD can be useful for describing the reception of a train at the RWS, obtaining information about the clients' solvency for a freight RWS, displaying data on the arrival of a train on information boards of the station, etc. On the UCD the TechP is depicted as an oval. In the field of the oval or under it, there is a phrase that explains the precedent (technological operation) (Kozachenko, 2013: 22–28; Voevoda, 2009: 169–174)

As previously shown in works (Szűcs, 2001: 133–142; Bobrovskiy, 2014: 57–65), the creation of UML of UCD for the RWS systems is necessary for:

- (at the initial stages of the RWS planning) defining the general boundaries and a context of a specific project (taking into account its features);
- (at the initial stages of the RWS planning) the formulation of general instructions for the algorithms of actions at specific RWS, depending on its features - freight, passenger, etc.;
- creation of the initial conceptual model of the RWS. At the subsequent stages, detalization is required in the form of logical, physical and software models;
- preparation of initial design documentation for the interaction of the RWS designers with its customers and executors of specific types of work.

Therefore, the literature review showed that many aspects of the use of UML diagrams to describe the functioning of complex systems on the railway transport are not fully disclosed. This led to the main goal of our research, which is to improve the method of formalizing the description of the TechP at the RWS based on the visual programming paradigm for simulating the RWS operation.

Materials and Methods.

Modeling the graphical representation of the TechP at the RWS by means of the UML visual language is achieved by creating diagrams of state (hereinafter DIS) and activities of various degrees of detalization (Kirichenko, 2017: 142–154).

For example, for a freight RWS, there was created a UCD, shown on Fig. 2. This diagram shows the technical processing of the train upon arrival at the RWS.

In order to achieve a clear understanding of the TechP at the RWS, it is necessary to highlight its main components: objects requiring the actions of the executor; set of works; persons performing work.

A certain number of operations (works) provided for by the TechP are performed by each object at the RWS, and the execution of technological operations (hereinafter referred to as TechO) at the station is provided by executors (shunting locomotives, marshalling yard, etc.). Each TechO should be carried out by executors of a strictly defined specialization (for example, a technical inspection team (TIT) performs an inspection of wagons, the formation of a train - a shunting locomotive and a marshalling yard, etc.). At the same time, the executor of a particular specialization can perform several different operations (for example, the signalman performs the fastening of the train and the cleaning of brake shoes) (Bobrovskiy, 2014: 57–65.).

Modeling of the TechP at the RWS is achieved by synthesizing UML diagrams of state and activity, respectively, DIS and DIA.

DIS in UML describes the process of changing the states (completed works of TechP) of only one object. In this case, a change in the state of an object (train, group of wagons) can be caused both by internal processes and due to the action of external pathogens. The main purpose of this UML diagram in the formalization of the TechP at the RWS is to describe all possible sequences of work, which together will form the options for the actions of objects during their stay at the RWS.

DIS in UML notation is essentially a graph of a special kind. This graph can be represented as a certain automate. The vertices of the graph will be the work performed at the RWS. Besides, such a graph contains some other types of automaton elements. These elements will be rendered as adequate graphical notations (conventions) in a specific modeling environment. The arcs of the graph are designed to represent transitions from state to state. The corresponding states describe the completion of the work and the transmission of the necessary signal to the executors of the next work in the diagram. DIS can be nested within each other (Kozachenko, 2013: 47–55.).

The diagram of activity in the UML language (hereinafter referred to as DIA) reflects the TechP typical for the RWS. The diagram of activity is also a graph that represents a certain automate, but it has the following differences:

- on DIA, both states can be distinguished, and actions can be shown, and actions, in turn, can be represented as a new DIS or DIA, receiving nested diagrams;
- DIA has the operator of "choice" in the set of tools for presentation;
- on DIA, you can show the parallelism of the processes performed at the RWS;
- on DIA there is a possibility of presenting the processes of synchronization at the RWS.

When formalizing the processes of the RWS, the DIS describes the change in the phases of servicing objects during the execution of TechP and work with individual objects (for example, disbandment of a train, etc.). In this case, changes in the states of objects can be caused both by internal processes and due to the action of external factors. An example of a diagram of state is shown on Fig. 3.

When describing the RWS, there are used DIA to describe technological operations performed with objects within individual states. On DIA, the executors of a certain specialization correspond to separate paths, operations - states of activity, cause-and-effect relationships between operations - transitions between the states.

Additional elements of the DIA are decision nodes and nodes of merging (merging and splitting), as well as points of input and output of signals.

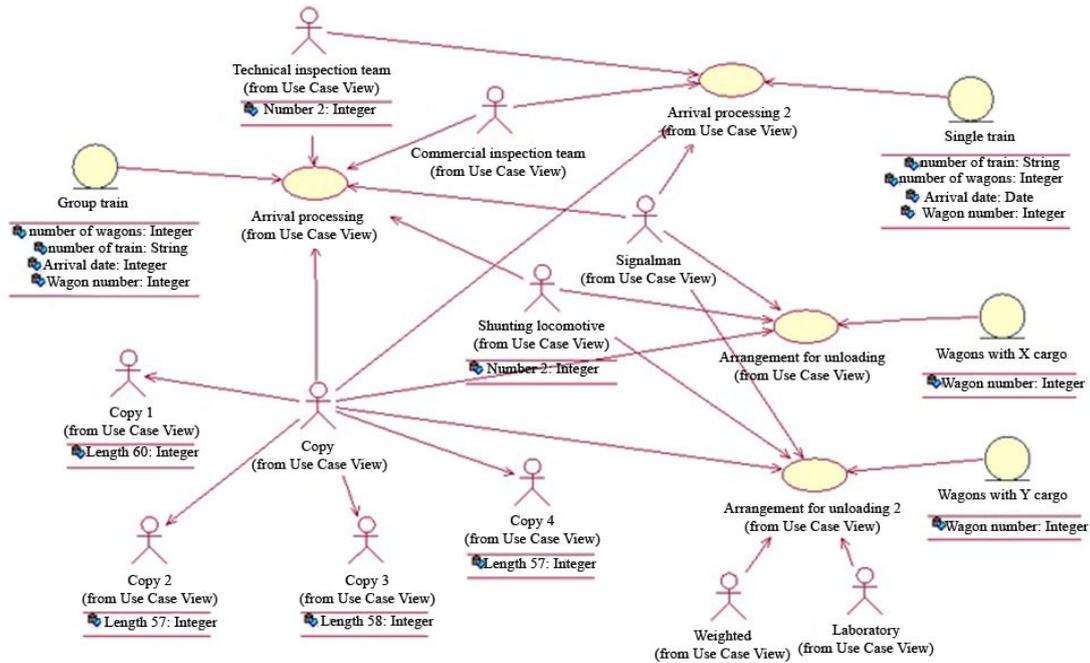


Fig. 2. UCD for freight RWS

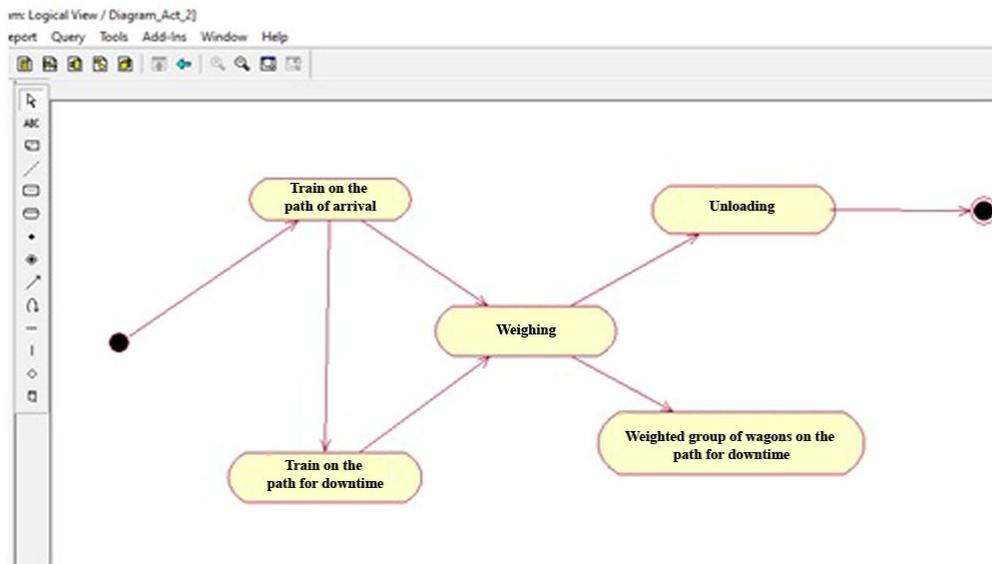


Fig. 3. DIS for servicing train wagons with grain

An example of DIA for servicing a train upon arrival is shown on Fig. 4.

For the TechP, modeled using the diagram of activity, it is typical to reflect the parallelism of the activities of the objects involved in the TechP data. For TechP, in parallel, there are involved the path on which the train arrived, a shunting locomotive, a signalman, a technical inspection team, a commercial inspection team (CI). The states of the graph show the work that is performed while processing the train. The execution time of operations is indicated by the label "do".

Work status labels of DIA indicate: *entry* – work, or an incoming document required to perform work at the time of entering the state;

exit – work (output objects) performed at the time of exit;

do – work done throughout the allotted time;

event – separate action performed while the system is in a particular state.

Such "events" must be ordered in time.

Only one transition can be made from specific states at given moments in time. In this way, it is ensured that a dual result is avoided for any event. There are two special types of states: 1) entry; 2) exit.

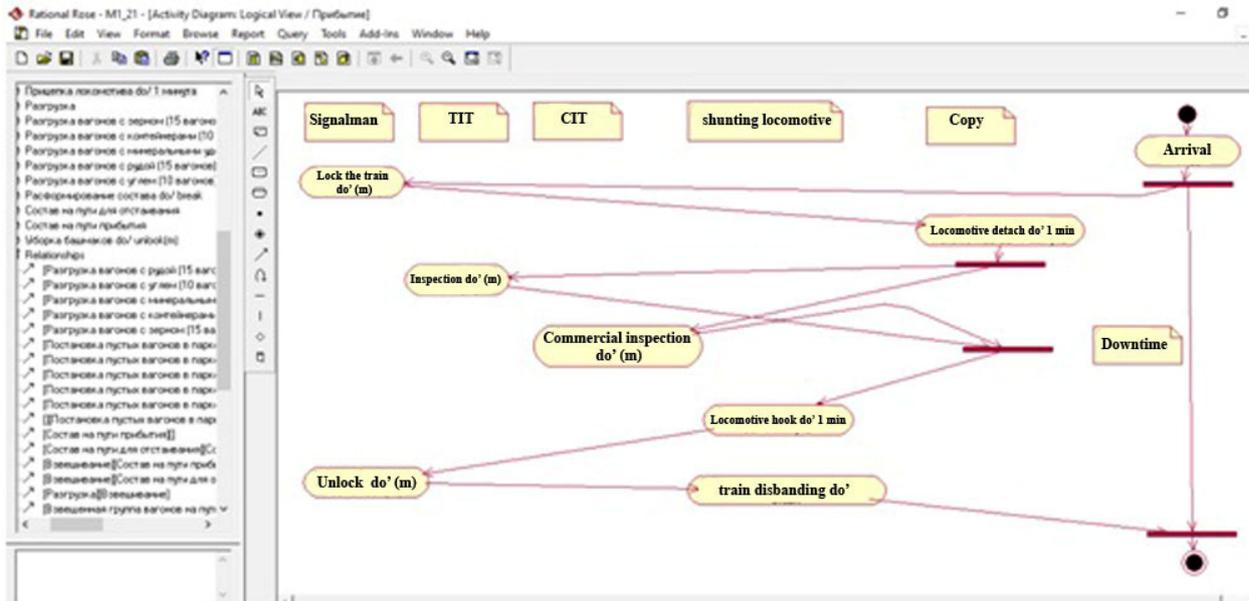


Fig. 4. DIA for processing a train at the RWS

Any action that is associated with an entry event is performed when objects enter the appropriate states. Exit events are executed when objects leave these states.

In the behavior of the train in the system we can distinguish actions that are reflected by transitions and actions of the displayed states. Although both are processes that are implemented, as a rule, by some "executors" of the TechP, they are interpreted in different ways. Transition activities are considered as instantaneous or continuous. State works can take quite a long time. Work may be interrupted by some external event.

In addition, there are two special transitions on the DIA: connection position and distribution position. This representation in the diagram shows the execution of parallel works. The Fig. 4 shows that in the technological process of processing a train upon arrival, two parallel works are performed: maintenance of the RS and its inspection. The Fig. 4 shows both operations performed in parallel and operations separated by connection and distribution positions. Each such action is characterized by a function of execution or time of completion of work. For parallel work, we can create diagrams of various degrees of detalization. For the diagram of the completion of the train stay in a state with parallel works, it is necessary that all parallel works finish their execution simultaneously. This is the main condition for moving to the next work in the diagram.

The graphical-analytical representation of TechP is visual for the development, understanding and subsequent creation of new functional blocks of TechP at the RWS and reduces the time spent for its study. It is also possible to present TechP of various degrees of detalization. After receiving a schematic representation of the TechP in the IBM Rational Rose environment, the user receives a text file describing the process. The file can be used in the analysis of TechP and to perform calculations of the formalization indicators of the TechP at the RWS.

Let us note that the scientific novelty and practical significance of these studies lies in the methodology proposed for creating mathematical models of the TechP at the RWS using the unified UML language.

This approach makes it possible to reduce the time spent on creating a model of the RWS operation and to present a specific technological process for each station, as well as to specify, design, document and formalize the technical process, to develop work sequence diagrams of various degrees of detalization.

The design of the TechP at the RWS and the creation of their input model is characterized by a high level of interaction between the design engineer and the computer. This stage is characterized by the creation of an effective graphical representation focused on the visualization and formalization of the TechP at the RWS.

At this stage, a set of formalization diagrams of the TechP at the RWS is represented as a set of graphic objects Q_{ex} . The following types of objects are highlighted:

D_p – use case diagram; D_{Sch} – DIS; D_{act} – DIA.

Each of the given diagrams is associated with a set of tools for their graphical display.

Use-Case Diagram (UCD) is presented as a directed graph and is described by the following set:

$$D_p = \{I_d^p, V, E, f_b, f_e, vt\}, \quad (1)$$

where I_d^p – use case diagram identifier; V – list of vertices of the graph; E – list of transitions; f_b – initial vertex of transition; f_e – final vertex of transition; vt – transition type function.

The initial and final vertices of the transition are defined as:

$$f_b : E \rightarrow V, f_e : E \rightarrow V, \quad (2)$$

$$vt : V \rightarrow VT, \quad (3)$$

$$VT = \{actor, entity, function\}. \quad (4)$$

Information about the diagram is contained in the file that describes the resulting model and contains:

list of vertices of actors - V_a . Here V_a describes the vertex that its identifier defines, the field *quid* and *stereotype* are defined by the function VT . Each actor can have a list of parameters. The list of parameters is defined as *class_attribute_list* and each attribute is defined as *ClassAttribute*;

list of vertices – functions V_f that are defined by identifier, name, by the field *quid* and additional urgent information

list of edges E . An edge is determined by the link type *Association*, identifier, name, by the field *quid*, field *roles*, a list of two objects *Role*. For each edge, there is a list of two vertices, final and initial.

The State Chart Diagram is described by the following set:

$$D_{Sch} = \{I_d^{Sch}, V, E, V_{start}, V_{stop}, f, f_b, f_e\}, \quad (5)$$

where I_d^{Sch} – state chart diagram identifier; V – set of vertices (states); E – list of transitions; V_{start} – vertices of the initial state of the diagram; V_{stop} – vertices of the final state of the diagram; f_b – initial vertex of transition; f_e – final vertex of transition; f – runtime function.

The initial and final vertices of the transition are defined as:

$$f : V \rightarrow R. \quad (6)$$

Information about a diagram, which is displayed in an identical file, consists of structures:
list of vertices - names of works (V). The parameter (V) describes the vertex, which is defined by its identifier - fields *quid* and *type* containing a line "StartState". The attributes are presented in the field *actions* in the form of a list, each element of this list is an attribute of the vertex, the name of which is indicated in the field *ActionTime*. The field *ActionTime* contains the attribute of the operation execution at the top of the graph of values of the set W ;

list of edges (E). The list of edges (E) is defined by a field *transitions* and a service word *list transition _list*, each edge is defined by a structure *objet State _Transition*. Each edge is identified by an edge identifier, by the field *label*. The final vertex of the edge is defined by the service word *supplier* and *supplier_quidi* - the identifier of the final vertex. The initial vertex of the edge is determined by the service word *client* and *client _quidu* - the identifier of the initial vertex. The edge is characterized by the execution of the transition action and is determined by the field *Event*. The field *Event* is described by the name of the line type, by the identifier and the service message defined by the field *sendEvent*. The message has its own identifier;

vertices of the initial state of the diagram are presented in the file by the field *objet State* and are indicated by the line "\$UNNAMED\$ 0". The vertex is defined by the field *type "StartState"* as the initial state for the graph;

the vertices of the final state of the diagram are presented in the file by the field *objet State* and are indicated by the line "\$UNNAMED\$ 1". The vertex is defined by the field *type "EndState"* as the initial state for the graph.

DIA is described by the following structure:

$$D_{act} = \{I_d^{act}, V, E, V_{start}, V_{stop}, f, f_b, f_e, S\}, \quad (7)$$

where I_d^{act} - DIA identifier; V - set of vertices (states); S - list of parallel t existing actors; E - list of transitions; V_{start} - vertices of the initial state of the diagram; V_{stop} - vertices of the final state of the diagram; f_b - initial vertex of transition; f_e - final vertex of transition; f - runtime function,

$$V = VA \cup VC \cup VD \cup VG, \quad (8)$$

where VA - set of vertices of the diagram transition; VC - set of vertices of the conditional transition; VD - set of vertices of separation point transition; VG - set of vertices of connection point transition.

The sets VA, VC, VD, VG are pairwise disjoint. The set VD can have only one entry to the edge, and it takes the following form:

$$(\forall v \in VD) Card \{e \in E, f_b(e) = v\} = 1, \quad (9)$$

$$(\forall v \in VG) Card \{e \in E, f_e(e) = v\} = 1, \quad (10)$$

$$s : V \rightarrow S. \quad (11)$$

Information about the diagram that is displayed in the model file consists of such structures:
 a list of vertices - the names of works or transitions of a special type (transition type *State* ; conditional transition; the transition of a separation point of a type *SynchronizationState* is determined by an identifier - the field *quid* . A separation point is characterized by a list of separation edges. The list is defined by the field *transitions* (*list transitions_list* and a list of edges with a field *object State_Transitions*). Each vertex is defined by the field *quid* , by the edge identifier and a list of edges of the initial state and final states. The initial edges are described by the field *supplier* and contain links to the initial state of the graph and the final states described by the field *client* . All transitions have their identifiers and data transfer events during transitions;

the transition of the connection point of the type *SynchronizationState* is determined by the identifier - the field *quid* . A connection point is characterized by a list of connection edges. The list is defined by the field *transitions* (*list transitions_list* and a list of edges with a field *object State_Transitions*). Each vertex is defined by the field *quid* , by the edge identifier and a list of edges of the initial state and final edges. The initial edges are described by the field *supplier* and contain links to the initial state of the graph and the final states described by the field *client* . All transitions have their own identifiers and a data transfer event occurs when transitions are made;

identifier *V* - describes the vertex that the list of edges *E* defines. The list of edges is determined by the field *label* , the final vertex of the edge is determined by the service word *supplier* and *supplier_quidu* - the identifier of the final vertex, the initial vertex of the edge is determined by the service word *client* and *client_quidu* - the identifier of the initial vertex. The edge is characterized by the execution of an action during the transition and is determined by the field *Event* . The field *Event* is characterized by the name of the line type, by the identifier and a service message, which is defined by the field *sendEvent* , and the message has its own identifier;

vertices of the initial state of the diagram are presented in the file by the field *object State* and are indicated by the line "\$UNNAMED\$ 0" . The vertex is defined by the field *type "StartState"* as the initial state for the graph;

the vertices of the final state of the diagram are presented in the file by the field *object State* and are indicated by the line "\$UNNAMED\$ 1" by the field *type "EndState"* . The vertex is defined as the initial state for the graph;

the list of executors *S* is defined in the diagram as a section *partitions* (*list Partitions* , the list of executors is initiated by the field *object Partitions* , the identifier *S* is determined by the field *quid* , the field *class* contains data on the link of belonging to the UCD entity, the field *persistence* defines the type of entity.

In general, the presented model Q_{BX} is a list of graphical objects that are written in a specific order.

Therefore, in the input model, there is proposed a description of the graphical-analytical representation of the RWS technological process, while the description is made in the IBM Rational Rose environment, which allows at the next stage to proceed to the stage of designing interfaces for the ACS or IS of RWS.

The considered diagrams of states and activities prescribe the rules for the functioning of the RWS model. A station is a collection of automate interacting with each other in discrete time.

Some automate exist all the time the model is running (permanent), and some are created and destroyed in the process of operation (temporary).

Permanent automates correspond to the RWS resources (shunting locomotives, paths, a technical inspection team, etc.). Trains correspond to temporary automate.

In a relationship with a temporary automate, a permanent automate accepts their requests for resource allocation or satisfies the request if it has a sufficient number of resource units at its disposal. At the end of the work of the temporary automate, the resource that was used to perform the work is returned to the permanent automate.

A temporary automate is created upon activation of a node or vertex of the type UCD function. In this case, the request to perform the following activities, which are described by the corresponding diagram of state, can be initiated multiple times. The state of the automate is set by the active vertex of DIS. Upon completion of the work corresponding to this vertex, the automate moves along the edge from this vertex to a new active one.

If several edges come from one vertex, then the transition occurs along one of them. The rule for selecting an edge is a vertex attribute. The work of the automate ends and the temporary automate is destroyed upon reaching the final state.

An ambiguous task is to simulate the operation of the RWS when the temporary automate is at one of the vertices of the diagram of state. DIA is assigned to this vertex, the vertices of which describe groups of works, and some works can be performed in parallel.

The internal model should be the basis for the development of effective methods of functional modeling of the RWS operation. An internal model is created automatically based on the input model using the models developed in the article.

Based on the UCD, there are formed lists of executors E and object templates D , each element of which is described by the following data structure:

executor $e_r \in E$

$$e_r = \{i_e, P_e\}, \quad (12)$$

where i_e – executor identifier; P_e – list of executor parameters; object template $d_y \in D$

$$d_y = \{i_d, P_c, E_d, A\}, \quad (13)$$

where i_d – object template identifier; P_c – set of object properties with default values; E_d – list of executors required for object maintenance; A – state machine (SM), describing the procedure for performing technological operations (TechO) with an object.

The formation of the SM describing the procedure for performing TechO with an object is based on the DIS. To describe the automate, there is used an approximate parametric graph whose vertices correspond to the states of the SM, and the arcs correspond to transitions. Vertex incidence lists are used to describe the structure of the graph. Moreover, each state of the automate is described by the structure

$$s_a = \{i_a, R, X\}, \quad (14)$$

where i_a – automate state identifier; R – TechO of the object in this phase of TechP; X – list of transitions.

Each element of the list of transitions is described by the structure

$$x_q = \{z, i_a, f_p\}, \quad (15)$$

where z – input signal; f_p – transition function.

The technology for object maintenance in certain phases of TechP is formed on the basis of the DIA. The technology model is a directed graph $T = \{O, G\}$. TechO corresponds to the vertices of the graph $o_j \in O$, as well as the points at the beginning and at the end of the technological process, branching, merging, and decision making.

In particular, TechOs are represented by structures

$$q_i = \{i_q, i_{qn}, f_s, f_d, f_e, E_q\}, \quad (16)$$

where i_q – vertex identifier; i_{qn} – next vertex identifier; f_s, f_e – functions performed respectively at the beginning and at the end of the operation; f_d – function that determines the duration of the operation; E_q – list of executors.

Each element of the list of executors is determined by the specialization of the executor required to start the work and by a parameter that indicates the order in which it is released from the operation.

As noted earlier, at the upper levels, the RWS models are collections of interrelated states. Each of these states can be represented as a sub-automate. Accordingly, the work of such sub-automate as part of the RWS will be conducted in parallel. The states that characterize the RWS operation will correspond to the various technological resources at the RWS. And in addition, the RWS scheme is supplemented by such objects as a dispatcher (the main function is the appointment of TechO executors) and an incoming flow generator (IFG) of service requests.

The work of the dispatcher and the IFG can be described using external algorithms.

From the point of view of representing the model of the RWS functioning as a finite-automaton model, both the dispatcher and the IFG can be represented as an automate with a single state. That is, the dispatcher and IFG will generate signals that will control the RWS operation. The interaction of the SM with each other is realized by means of signals automates generated during the operation.

For a typical structure, a SM of the RWS will respond to the following signals:

- 1) "Perform (object, type of work)". Such a signal is received by the dispatcher, processed by him, and then the executors are appointed;
- 2) "Execution (object, type of work, executors)". Executors (or executor) are SMs. The SM data will correspond to some units of technological resources of the RWS;
- 3) "Completion (object, type of work)". This signal serves to synchronize messages from executors about the completion of work;
- 4) "Time". A signal τ that is needed to measure the time intervals that are allocated for the execution of work.

As an example, let us consider the diagram of changes of the SM states for a shunting locomotive (technological resource, see Fig. 2), which is assigned to arriving trains, see Fig. 5.

The operations shown on fig. 5 can be represented as a graph describing the operation of a state machine. The Figure 5 gives a representation in the form of a graph for an automate (shunting locomotive), which transports wagons during their unloading.

In the course of modeling the operation of such a state machine, the task of obtaining information on the duration of the execution of specific TechOs is of paramount importance.

From the point of view of the description of the SM, it is necessary to assess the possibility of transition from the state A for which the objects can perform TechO with

duration t into a certain state B . If the ultimate task is to automate the object control processes at the RWS, then obviously it is necessary to receive a signal that actually initiates the transition.

Next, you need to decide on the place where you should store information about the transition time. Within the framework of modeling with UML diagrams of the TechP at the RWS, we assume that all incoming signals will be external in relation to the initial state of the object. Tracking the time of work performed by a shunting locomotive can be applied using two approaches:

The first approach involves processing the SM states for each moment of event processing τ ;

The second approach assumes the need to process SM events, which is characterized by a complex structure.

When using each of the above approaches, we mean that it is necessary to create SM based on its rules for transitions between the states.

Therefore, if we take the rules for creating SM as a basis, applying the first approach, then it is necessary to process its states at every moment τ . In this case, it is necessary to store in the ACS or IS time arrays describing the change in the states of the SM and the signals generated at the moment τ . It is also necessary to check the transitions to the following states of the SM. Consequently, the SM operation will continue until at a certain moment in time τ the SM state will correspond to the position ("Train sent").

The second approach is also generated on the basis of SM states. But in this case, it is more important to create SM based on the general principles of deduction - from general provisions to detailed ones. In addition, the SM is controlled through external signals. It is also typical for the second approach that transitions from one state to another will be accompanied by quantitative data.

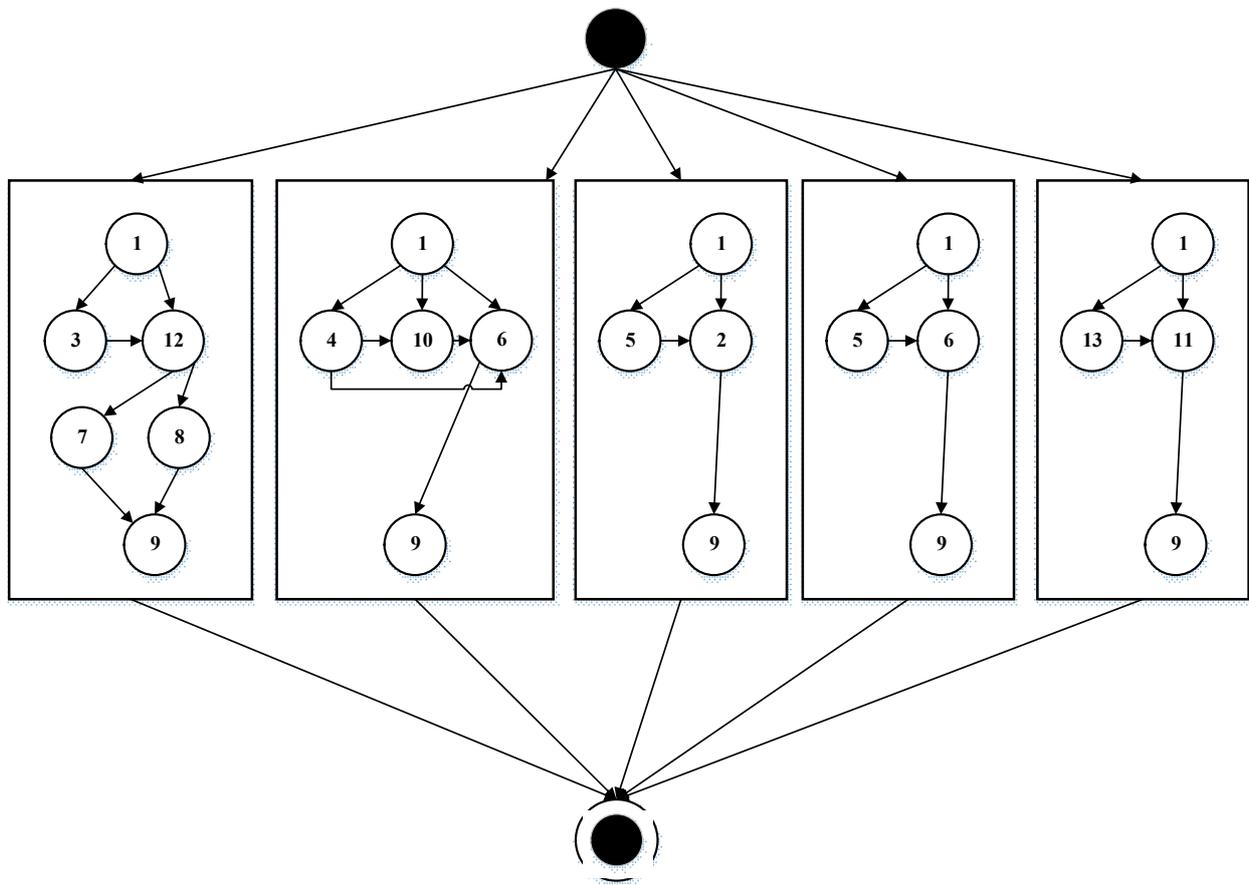
Using these considerations, there was created a UML diagram for the SM, which shows the TechP for unloading wagons with different cargos, see Fig. 6.

Thus, this SM describes the model of the TechP at the RWS in UML notations and, in fact, is a set of hierarchical automates. In this case, each SM will correspond to a unit of the RWS technological resource (for example, for the resources shown on Fig. 2: path, shunting locomotive, etc.). Separate elements of the SM will be required to simulate the activities of the dispatcher and to develop an ACS or IS for the RWS.

We also note that the strategies of action of these elements will be described by a set of parameters, which at the next stages of designing an ACS or IS for the RWS can be considered as variables for the multi-criteria optimization task of the RWS operation. At first approximation, it is better to describe the activities of the dispatcher using the simplest strategy of the SM operation. With this supply, the wagons undergoing processing will correspond to the parameters of the SM state.

The models of the technological process described using UML diagrams, and the methodology for creating RWS models as hierarchical SMs are well suited for the development of object-oriented applications for ACS and IS of the RWS.

However, in some cases, it is advisable to perform the automation of the development process and analysis of the technology of its work using simpler modeling methods. It is also advisable to do this if we are not talking about the design and implementation of object-oriented software products, but about the need to complete the stage of documenting work based on traditional design automation tools, for example, using the AutoCAD package. Such a supply of models focused on automated design systems of the RWS will increase the efficiency of human-machine interaction and provide automation of the processes analysis at the RWS, based on the minimum information entered by the operator. In such situations, it will be quite effective to use the method of representing the processes of the RWS functioning as graphical-analytical models.



SM states:

1. Arrival of the locomotive.
2. Arrangement of a group of wagons (GrWag) for unloading at VO-1.
3. Arrangement of GrWag on the path of the grain park.
4. Arrangement of GrWag on the path of the coal park.
5. Arrangement of GrWag on the path of the ore park.
6. Arrangement of GrWag for unloading at VO-2.
7. Arrangement of GrWag for unloading at the wagon unloading station No. 1.
8. Arrangement of GrWag for unloading at the wagon unloading station No. 2.
9. Arrangement of empty wagons on the path of the receiving-departure yard
10. Arrangement of GrWag for defrosting
11. Arrangement of GrWag for containers unloading.
12. Performing laboratory analysis of cargo.
13. Arrangement of GrWag on the path.

Fig. 5. SM state change diagram for a shunting locomotive assigned to arriving trains

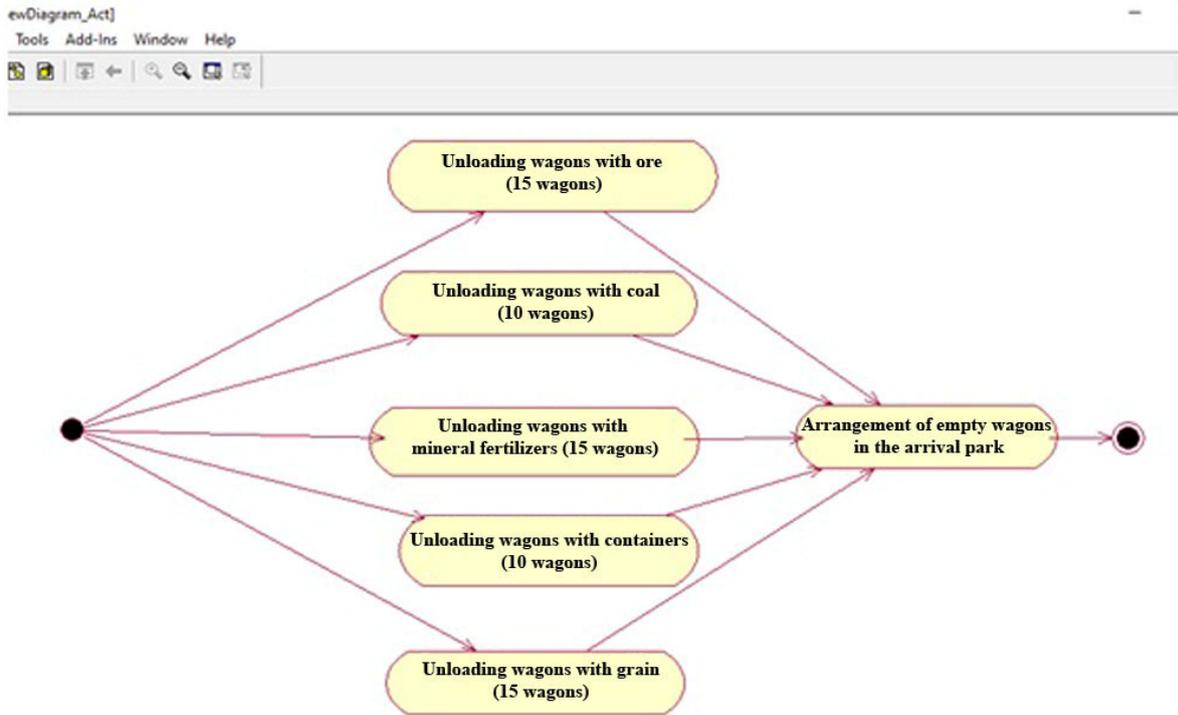


Fig. 6. UML diagram for a state machine that shows the TechP for unloading wagons with different cargos

In addition to SM using as a tool for modeling the technical equipment of the RWS, we can also use the theory of graphs, since for a number of cases, for example, when we are talking about modeling a special technical equipment of the RWS, this approach will be less laborious than developing a state machine. In this case, individual technical means (TechM) used at the RWS to automate TechP and the corresponding executors will be positioned as the vertexes of a tree (graph). The arcs of the graph will correspond to connections. Then the set of tree vertices (V) can be divided into such subsets (V_r, V_g, V_s). The vertexes V_r will represent the leaves of the tree to which the TechM, as well as the executors, will correspond to. As in the case of using the notations of UML diagrams or SM, the executors mean separate paths, shunting locomotives, TechM for automation of loading and unloading operations, technical inspection teams, commercial inspection team, etc.). The parameter V_s will correspond to the root of the tree, which forms the RWS. The nodes V_g will correspond to the TechM group used at the RWS. Moreover, the nodes V_g will be associated with the TechM groups, which are grouped according to certain principles (cargo handling points, a park of shunting locomotives, a laboratory, etc.). With this formulation of the problem, each vertex must be associated with its own list of parameters. For example, the vertex type (line, line group, RWS) will determine the parameter t_b . In order to determine the structure of the tree as a whole, it is necessary to assign a vertex v for each of the vertices u_b , i.e. $u_b \rightarrow v$. The rest of the parameters will be determined by the type of the vertex.

Then, the vertices $v_r \in V_r$ in the computer memory can be represented as follows:

$$v_r = \{t_b, u_b, s_r, n_r, y_r, h_r, z_r\}, \tag{17}$$

where s_r – vector of specialization of the executor (for example, TechM), which correspond to the types of operations performed; n_r – executor name (TechM); y_r, h_r, z_r –

respectively ordinate, height and visibility of lines in daily plans-schedules of the RWS operation.

The vertices $v_g \in V_g$ in the computer memory can be represented as follows:

$$v_g = \{t_b, u_b, n_r, w_g\}, \quad (18)$$

where n_r – the name of the groups of executors (TechM); w_g – width of a specific group (TechM) on daily plans-schedules.

The vertex v_s is represented by the structure:

$$v_s = \{t_b, u_b, p_s, s_s, w_s\}, \quad (19)$$

where p_s – period for which the simulation is performed; s_s – horizontal graph scale; w_s – column width for line title.

The RWS functioning can be represented as a process of station objects maintenance by individual executors. Such objects can include: a train, a wagon, a group of wagons, a locomotive, etc. Then, the object maintenance model will be a directed graph of the form $G(O, L)$. The vertices of the graph will correspond to individual TechOs, which the executors perform during the maintenance. The arcs of the graph will correspond to the cause-and-effect relationship between TechOs. The structure of such a graph can be represented as incidence lists. Then, each vertex (o) is associated with a list (or lists) of previous (p_o), as well as subsequent (n_o) vertices.

The implementation of individual TechOs in some cases requires the involvement of several executors (several TechMs). For example, when using a marshalling yard, it is necessary to use the following TechMs: arrivals paths, thrust paths, shunting locomotive, signalman. Then, the vertices (a) and (c) have the form in which we will consider ($a \rightarrow c$) and ($c \rightarrow a$) as the simultaneous involvement of several executors (TechMs) to perform one TechO.

Then, each memory operation in a computer can be represented as follows:

$$o = \{p_o, n_o, t_o, p_o, b_o, v_o, w_o, l_o, d_o\}, \quad (20)$$

where t_o – TechO type; b_o – identifier of the object for which this TechO is implemented; v_o – identifier of a specific TechO executor; x_o, w_o – respectively, the beginning and duration of TechO; l_o – pointer to a modeled point on the graph; d_o – vector of additional parameters (this vector depends on the specifics of TechO).

Additional parameters that determine the specifics of TechO may be as follows: train number; the number of wagons, etc. Constants can be used as parameters of operations. You can also use a parameter b_o . The duration of a TechO can be represented as a constant, or you can apply special functional dependencies that were obtained for different TechOs.

The Figure 7 shows an example of the representation of the technical equipment of the RWS in the form of a graph for the case when it is necessary to simulate the transit trains maintenance at the RWS.

Individual operations on the graph are displayed as corresponding icons. Combining operations imported, for example, from a *.mdl Rational Rose file into appropriate groups, is implemented using the lists p_o, n_o . Then the TechO group can be assigned to the object b . This is done by specifying its identifier b_o . Each of the objects can be associated with a list of parameters d_b .

By changing the parameters of objects, it is possible to provide a synchronous change of the corresponding parameters of all TechOs related to the object. Then the TechO of objects at the RWS can be formalized using a directed graph of the form $H(T, L)$.

A graph $H(T, L)$ is like a graph $G(O, L)$. In the graph $H(T, L)$, it is assumed that T – the graph of vertices or templates of TechO, and L – arcs (connections) between the vertices. Individual operations can then be represented as follows:

$$t = \{p_t, n_t, t_o, s_t, x_t, w_t, l_o, d_t\}, \quad (21)$$

where s_t – specialization of the executor who performs TechO; x_t – conditional start point of TechO; w_t – duration of TechO; d_t – vector of default values of additional parameters that depend on the TechO type.

Creation of a technology description used at the RWS can be performed in separate editors that are suitable for the RWS technologist. This can, for example, be AutoCAD, KOMPAS, etc. Moreover, the list of works can be easily imported from UML diagrams files, for example, below there is a fragment of the listing of the list of works at the RWS, imported from a *.mdl file describing the UML diagram for the TechP of the state machine for unloading wagons with different cargos, see fig. 6:

(list States

(object ActivityState "Unloading wagons with coal (10 wagons)"

(object ActivityState "Unloading wagons with ore (15 wagons)"

(object ActivityState "Unloading wagons with mineral fertilizers (15 wagons)"

(object ActivityState "Unloading wagons with containers (10 wagons)"

(object ActivityState "Unloading wagons with grain (15 wagons)"

object ActivityState "Arrangement of empty wagons in the arrival park")

(object ActivityState "Train on the path of arrival")

(object ActivityState "Weighing")

(object ActivityState "Weighted group of wagons on the path for settling")

Executors' identifiers (v_o) are replaced by their specializations from the list (s_r). If new objects are added to the UML diagrams, then the computer will select the executor, guided by their specialization. This will ultimately allow minimizing the duration of work on specific TechO.

Taking into account the fact that maintenance at the RWS is performed using standard technologies, the formalization of the TechP description can have a positive effect, which consists in reducing the time for developing and modifying maintenance schedules of TechOs. The developed graphic-analytical model, implemented, for example, in AutoCAD, see fig. 8, makes it possible to automatically determine part of the indicators of the RWS functioning.

For example, it is possible to automatically carry out calculations for the load factors of TechO executors, as well as for TechM (6)

$$\gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^k w_j}{p_s}, \quad w_j = \begin{cases} w_{0j}, & \text{for } v_{0j} = i, \\ 0, & \text{for } v_{0j} \neq i, \end{cases}$$

where k - total number of RWS executors.

It is also possible to calculate automatically the downtime of the wagons, which correspond to the analyzed TechO.

Taking into account the fact that the development of the schedule is usually performed by a RWS technologist, the use of a schedule plan, as well as tools for design automation packages such as AutoCAD, should not cause any particular difficulties. In fact, in this case, the development of a plan-schedule resembles the usual process associated mainly with adding, removing and modifying icons on the plan. At the same time, the developed interface in any computer-aided design environment, for example, AutoCAD, will be intuitive for RWS technologists and will not require additional training, unlike the skills of designing UML diagrams.

Let us note that formalization of the process of drawing up schedules, based on the models described in the chapter, will significantly reduce the time for creating such schedules. Also, this approach, in conjunction with the possibilities of combining the Rational Rose and AutoCAD package tools, increases the capabilities of both technologists and programmers of ACS and IS of RWS to make adjustments to already existing diagrams and plans-schedules of TechP, depending on the specific circumstances at the RWS, as well as coordination of modifications of operations with objects. The presence of models makes it possible to automate the processes of calculating the main indicators of the RWS operation, to visualize the results of calculations on the loading of TechM, downtime, etc

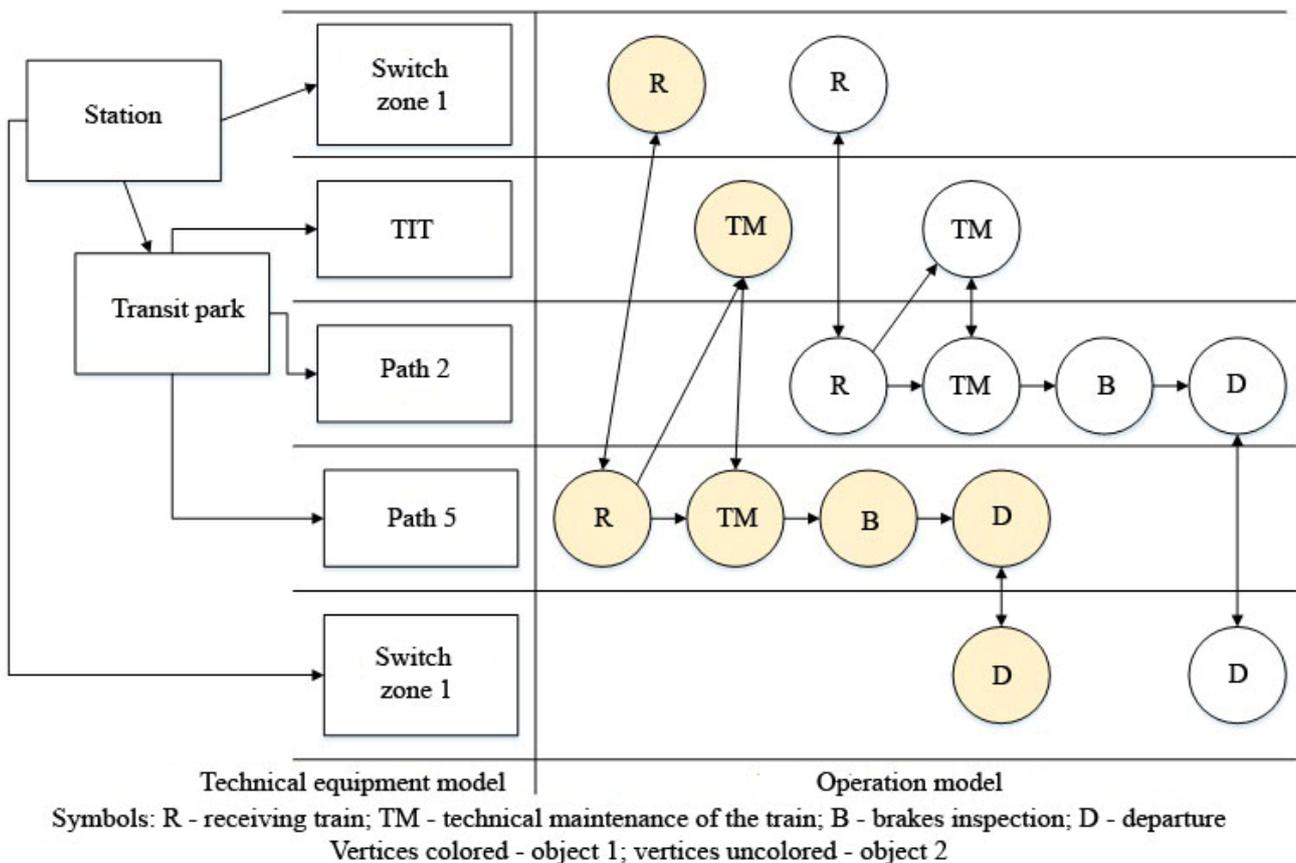


Fig. 7. Representation of the technical equipm

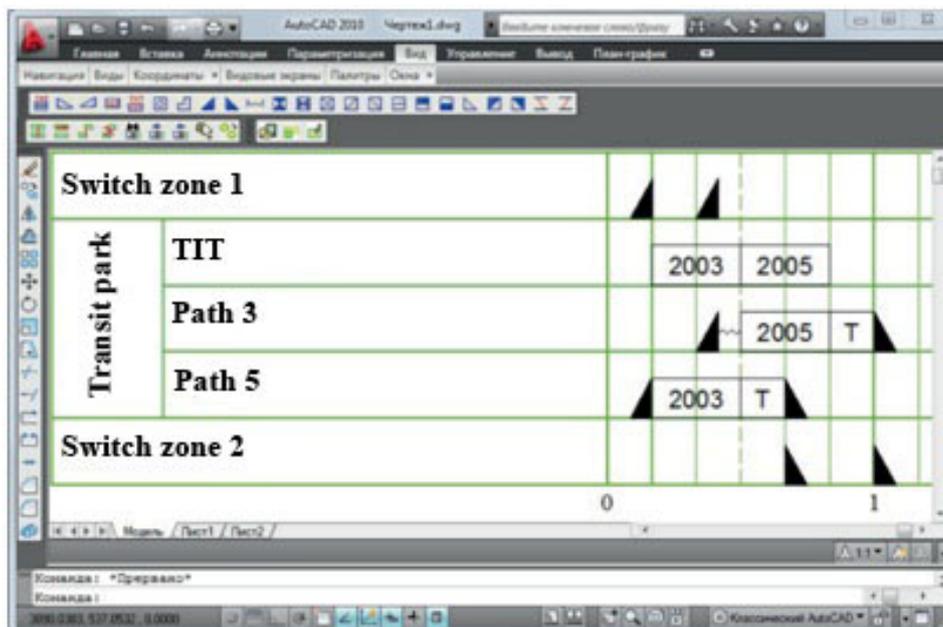


Fig. 8. An example of integrating work lists from a state machine graph or UML diagram into the AutoCAD design system

The formal representation of the processes of the RWS functioning will also allow automatically generating files with the initial data for the simulation of processes at the RWS.

Taking into account the fact that the development of schedule plans is usually performed by a RWS technologist, the use of a schedule plan, as well as tools for design automation packages such as AutoCAD, should not cause any particular difficulties. In fact, in this case, the development of a plan-schedule resembles the usual process associated mainly with adding, removing and modifying icons on the plan. At the same time, the developed interface in any computer-aided design environment, for example, AutoCAD, will be intuitive for RWS technologists and will not require additional training, unlike the skills of designing UML diagrams. Let us note that formalization of the process of drawing up schedules, based on the models described in the chapter, will significantly reduce the time for creating such schedules. Also, this approach, in conjunction with the possibilities of combining the Rational Rose and AutoCAD package tools, increases the capabilities of both technologists and programmers of ACS and IS of RWS to make adjustments to already existing diagrams and plans-schedules of TechP, depending on the specific circumstances at the RWS, as well as coordination of modifications of operations with objects. The presence of models makes it possible to automate the processes of calculating the main indicators of the RWS operation, to visualize the results of calculations on the loading of TechM, downtime, etc.

Formal representation of the processes of the RWS functioning will also allow to automatically generate files with the initial data for the simulation of processes at the RWS

Conclusion.

The method of formalizing the TechP description of the RWS based on the visual programming methods for the simulation of the RWS operation has been improved.

The UML diagrams of state and activity have been adapted to represent the RWS operation technology. When formalizing the RWS description, the diagram of state is submitted taking into account the specifics of the description of the change in the phases of objects maintenance in the process of performing the maintenance of individual objects.

It is shown that the diagram of state for RWS is a state machine (SM) that models the sequence of changing the states of an object. The detalization of the behavior of objects serviced at the RWS has been completed. Detalization is done using the diagrams of activity. The diagrams of activity are used to formally describe the TechO with objects and executors of work at the RWS.

There is proposed a methodology for creating RWS models as hierarchical SM. It is proposed to visualize state machines taking into account the features of the RWS in the form of Harel diagrams (UML state diagrams).

On the basis of the use of hierarchical SM, there have been improved the methods of functional modeling of the RWS.

Based on the use of hierarchical spacecraft, the methods of functional modeling of the LDS have been improved.

It is shown that functional UML models of the RWS can be used to analyze changes in structures, technical equipment, and technologies for work technology at the RWS. Moreover, these models can be used to assess the compliance of the technical and technological equipment of the RWS with both the existing and future scope of work at the station.

It is shown that signals about the beginning and the end of various works at the RWS allow synchronizing the operation of the model. It is shown that the use of actions to describe the states and signals will make it possible to use external algorithms for the design of ACS of the RWS. This is especially important when the application of the finite-automaton formalism is difficult or inconvenient. The chapter discusses specific examples of the SM description that simulate the operation of the RWS for the TechO of the wagon acceptance.

The described methodology was implemented using the UML in the Rational Rose environment. This significantly reduced the complexity of the work on the synthesis of the corresponding models of the RWS.

It is shown that in the course of the development of effective automated systems for analyzing the technologies of the RWS operation, it is required to increase the efficiency of man-machine interaction when creating models of RWS processes. It has been established that the structure of the model of the RWS functioning should ensure the implementation of possibilities for the automatic analysis of RWS processes based on the minimum human participation in the process of entering information. The achievement of the solution to this problem is facilitated by graphical-analytical models of the RWS.

It has been established that the graphical-analytical models of the RWS operation are capable of providing a high speed of human-machine interaction and reducing the barriers between the cognitive perception by the engineer of the graphic models of TechP at the RWS and the UML notations, which are designed for programmers. There has been developed a model of graphic-analytical description of the RWS, in which, in contrast to the existing ones, there was added the ability to automatically correct the list of objects and technologies, as well as additional links between TechOs, which will reduce the load on designers during the development and analysis of technologies of the RWS functioning. Moreover, the list of objects and technologies can be automatically imported from UML diagram files.

REFERENCES

- Bobrovsky, 2000 — Bobrovsky V.I. Functional modeling of railway stations in the simulators of operational dispatching personnel. *Mathematical Modeling*. — 2000. — 2(5). — Pp. 68–71. [Eng.]
- Bobrovskiy, 2014 — Bobrovskiy V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automate. *Transport Problems*. — 2014. — 9(3). — Pp. 57–65. [Eng.]
- Giua, 2008 — Giua A. Modeling and supervisory control of railway networks using Petri nets. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. — 2008.— 5(3). — Pp. 431–445. — <https://doi.org/10.1109/tase.2008.916925> [Eng.]
- Kozachenko, 2013a — Kozachenko D.N. Object-oriented model of railway stations functioning. *Science and Progress in Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. — 2013. — 46. — Pp. 47–55. [Eng.]
- Kozachenko, 2013b — Kozachenko D.N. Mathematical model for assessing the technical and technological indicators of the RWS operation. *Science and Progress in Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. — 2013.— 45. — Pp. 22–28. [Eng.]
- Kirichenko, 2017 — Kirichenko A.I. Methods of creating intelligent automated control systems for the delivery of goods on the railway. *Science and Progress in Transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. — 2017. — 2(68). — Pp. 142–154. [Eng.]

- Leonenkov, 2007 — Leonenkov A.V. UML 2. BHV-Petersburg. — 2007. — 560 p. [Eng.]
- Milinkovic, 2013 — Milinkovic S. A fuzzy Petri net model to estimate train. *Simulation Modelling Practice and Theory*. — 2013. — 33. — Pp. 144–157. — <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.12.005> [Eng.]
- Szücs, 2001 — Szücs G. Railway simulation with the CASSANDRA simulation. *Journal of Computing and Information Technology*. — 2001. — 9(2). — Pp. 133–142. — <https://doi.org/10.2498/cit.2001.02.04> [Eng.]
- Voevoda, 2009 — Voevoda A.A., Romannikov D.O., Zimayev I.V. Application of UML diagrams and Petri nets in the development of embedded software. *Scientific Bulletin of Novosibirsk State Technical University*. — 2009. — 4. — 169–174. [Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 4. Number 88 (2025). Pp. 103–118
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.008>
УДК 7215

SALE OF REAL ESTATE USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES

L. Sorokina, A. Myazova*

D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

E-mail: sorokinna@mail.ru

Larisa Sorokina — c.e.s., D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: sorokinna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8953-5184>;

A. Myazova — student, D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

E-mail: myazova2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3234-3450>.

© L. Sorokina, A. Myazova

Abstract. The study focuses on the application of virtual and augmented reality (VR/AR) technologies in the real estate sector, including property purchase, sale, rental, and design. In today's fast-paced environment, population growth and increasing demand for housing require the implementation of innovative technologies to enhance transaction efficiency and improve customer service quality. The purpose of the study was to explore the potential of VR/AR technologies to improve real estate sales and design processes, as well as to analyze their economic efficiency. The research objectives included evaluating current trends in the real estate market in Kazakhstan, studying the impact of VR technologies on buyers' decision-making, developing a VR tour and virtual design model, conducting a financial analysis of project implementation, and identifying potential risks and mitigation strategies. The results demonstrated that VR technologies accelerate the buyers' decision-making process twice as fast compared to traditional methods (photos, brochures, 2D plans). More than 80% of respondents reported that virtual tours helped them better understand the layout and design of the property. The implementation of VR technologies contributes to increased sales volume, reduced costs for property demonstration, and expanded service markets both within Kazakhstan and internationally. Financial analysis showed that the project becomes profitable within the first two years of operation. In conclusion, the VR Estate project has significant potential to transform the real estate market, offering convenience, time and resource savings for all participants. Future prospects include expanding the range of services, integrating with international markets, and further utilization of augmented reality technologies for property reconstruction and interior design.

Keywords: VR technologies, real estate, virtual tours, interior design, Kazakhstan market, innovation, economic efficiency

For citation: L. Sorokina, A. Myazova Sale of real estate using virtual reality technologies // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 88. Pp. 103–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.008>.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ВИРТУАЛДЫ ШЫНДЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ЖЫЛЖЫМАЙТЫН МҮЛІКТІ САТУ



Л.Сорокина, А. Мязова*

Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

E-mail: sorokinna@mail.ru

Лариса Сорокина — э.ғ.к., Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

E-mail: sorokinna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8953-5184>;

А. Мязова — студент, Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

E-mail: myazova2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3234-3450>.

© Л.Сорокина, А. Мязова

Аннотация. Зерттеу тақырыбы – жылжымайтын мүлік саласында виртуалды және кеңейтілген шындық (VR/AR) технологияларын қолдану, оның ішінде сатып алу, сату, жалға беру және жобалау. Қазіргі өмір ырғағының қарқынының жоғары болуы, халық санының өсуі және тұрғын үйге сұраныстың артуы инновациялық технологияларды енгізуді қажет етеді, бұл мәмілелер тиімділігін арттыруға және клиенттерге қызмет көрсету сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты – VR/AR технологияларын жылжымайтын мүлікті сату және жобалау процесін жетілдіру үшін пайдалану мүмкіндіктерін зерттеу, сондай-ақ олардың экономикалық тиімділігін талдау. Зерттеу барысында келесі міндеттер қойылды: Қазақстандағы жылжымайтын мүлік нарығының ағымдағы тенденцияларын бағалау; сатып алушылардың шешім қабылдауына VR технологияларының әсерін зерттеу; VR-тур және виртуалды жобалау моделін әзірлеу; жобаны енгізудің қаржылық талдауын жүргізу және ықтимал тәуекелдер мен оларды азайту әдістерін анықтау. Зерттеу нәтижелері VR технологияларын пайдалану дәстүрлі әдістерге (фото, брошюра, 2D-жоспарлар) қарағанда сатып алушылардың шешім қабылдау процесін екі есе жылдамдата алатынын көрсетті. Сауалнамаға қатысқандардың 80%-дан астамы виртуалды экскурсиялар пәтердің орналасуын және дизайнын жақсы түсінуге көмектесетінін айтты. VR технологияларын енгізу сатылым көлемін арттырады, объектілерді көрсетуге кететін шығындарды азайтады және қызметтер нарығын Қазақстанда және одан тыс кеңейтеді. Қаржылық талдау жобаның алғашқы екі жылда өзін-өзі ақтайтынын көрсетті. Қорытындылай келе, VR Estate жобасы жылжымайтын мүлік нарығын трансформациялауға айтарлықтай әлеуетке ие, барлық қатысушылар үшін ыңғайлылық, уақыт пен ресурстарды үнемдеуді қамтамасыз етеді. Іске асыру перспективалары қызметтер ассортиментін кеңейту, халықаралық нарықтармен интеграциялау және объектілерді реконструкциялау мен жобалау үшін кеңейтілген шындық технологияларын одан әрі қолдануды қамтиды.

Түйін сөздер: VR технологиялары, жылжымайтын мүлік, виртуалды экскурсиялар, интерьер дизайн, Қазақстан нарығы, инновациялар, экономикалық тиімділік

Дәйексөздер үшін: Л. Сорокина, А. Мязова Виртуалды шындық технологиясын қолдана отырып жылжымайтын мүлікті сату // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 88. 103–118 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.008>.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ПРОДАЖА НЕДВИЖИМОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Л. Сорокина, А. Мязова*

Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан.

E-mail: sorokinna@mail.ru

Лариса Сорокина — к.э.н., Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: sorokinna@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8953-5184>;

Аделина Мязова — студент, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

E-mail: myazova2003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3234-3450>.

© Л.Сорокина, А. Мязова

Аннотация. Тема исследования посвящена применению технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в сфере недвижимости, включая покупку, продажу, аренду и дизайн объектов. В современных условиях высокий темп жизни, рост населения и увеличение спроса на жильё создают необходимость внедрения инновационных технологий для повышения эффективности сделок и качества обслуживания клиентов. Цель исследования заключалась в изучении возможностей использования VR/AR технологий для улучшения процесса продажи и проектирования недвижимости, а также анализа их экономической эффективности. В рамках исследования были поставлены следующие задачи: оценить текущие тенденции рынка недвижимости в Казахстане; изучить влияние VR-технологий на принятие решений покупателями; разработать модель VR-тура и виртуального дизайна объектов; провести финансовый анализ внедрения проекта и определить потенциальные риски и методы их минимизации. Результаты исследования показали, что использование VR-технологий позволяет ускорить процесс принятия решения покупателями в два раза по сравнению с традиционными методами (фото, брошюры, 2D-планы). Более 80% респондентов отметили, что виртуальные экскурсии помогают лучше понять планировку и дизайн жилья. Внедрение VR-технологий способствует росту объема продаж, снижению затрат на демонстрацию объектов и расширению рынка услуг как на территории Казахстана, так и за её пределами. Финансовый анализ показал, что окупаемость проекта достигается уже в первые два года работы. В заключение можно отметить, что проект VR Estate демонстрирует значительный потенциал для трансформации рынка недвижимости, обеспечивая удобство, экономию времени и ресурсов для всех участников процесса. Перспективы внедрения включают расширение ассортимента услуг, интеграцию с международными рынками и дальнейшее использование технологий дополненной реальности для реконструкции и дизайна объектов.

Ключевые слова: VR технологии, недвижимость, виртуальные экскурсии, дизайн интерьера, рынок Казахстана, инновации, экономическая эффективность.

Для цитирования: Л. Сорокина, А. Мязова Продажа недвижимости с использованием технологий виртуальной реальности // Помышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 88. Стр. 103–118. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.88.04.008>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Тема покупки, продажи, аренды и дизайна недвижимости актуальна для каждого человека, ведь каждый из нас нуждается в жилье. Наиболее актуальной из перечисленных тем является покупка недвижимости в других городах и странах, но тут возникает ряд проблем, с которыми поможет справиться проект VR Estate (Айтбаева, 2021: 45–55). Говоря о перспективах применения технологий виртуальной и дополненной реальности в бизнесе, сфера недвижимости обычно упоминается одной из первых (World Bank, 2022: 12–22). Происходит это из-за растущей конкуренции, больших размеров и объемов отечественного



рынка недвижимости (Бюро национальной статистики РК, 2022). С каждым годом технологии VR/AR развиваются всё активнее, находят применение не только в маркетинге, но и в сфере продаж, закрывают вопросы с коммуникацией, решают задачи территориальной удалённости клиентов и служат связующим звеном между банками и строительными компаниями (Назарбаев, 2019: 89–95).

Использование технологии виртуальной реальности в архитектуре помогает в принятии решений и визуализации результатов предлагаемых градостроительных проектов и архитектурных планов (Тренин, 2018: 63–67). Это также позволяет своевременно обнаруживать и исправлять ошибки, экономя тем самым время и деньги. VR-экскурсии помогают в 2 раза быстрее принять решение о покупке недвижимости, нежели проекты на компьютере, фото или брошюры (Бюро национальной статистики РК, 2022). Больше 80% покупателей отмечают, что VR-контент помог им принять решение о покупке и лучше понять планировку квартиры (Бюро национальной статистики РК, 2022).

Основная задача VR-туров – нарастить объёмы продаж не построенного жилья или продемонстрировать недвижимость, находящуюся в территориальном отдалении от человека (Быстров, 2025).

Во время пандемии Covid-19 большое количество предприятий приостановили свою деятельность. Однако растущая потребность бизнеса в продолжении своей деятельности в интернете привела к увеличению спроса на VR (Айтбаева, 2021: 52–60). Кроме того, VR-технология развивается как многообещающий инструмент для виртуальных мероприятий, что стимулирует рост рынка (World Bank, 2022: 15–20).

ОО «VR Estate» – это компания, которая поможет продать, купить, посмотреть, сконструировать недвижимость, не выходя из дома; предлагается 2 вида услуг: VR-экскурсия по недвижимости и проектировка и дизайн, перенесенный в виртуальную реальность (Айтбаева, 2021: 56–65). VR-экскурсия состоит из 2 этапов: 1) мобильная виртуальная реальность. Это 3D-модели планировок квартир или панорамные туры. Их можно загрузить на телефон, потом вставить телефон в очки виртуальной реальности; 2) полномасштабный VR, когда можно свободно «перемещаться» по виртуальному пространству квартиры. В офисах продаж застройщик предоставляет клиенту шлем виртуальной реальности, а потенциальный покупатель может «ходить» по квартире, присесть, заглядывать под стол и ванну и так далее (Айтбаева, 2021: 57–60). Такой инструмент дает клиенту больше возможностей изучить квартиру. Также предполагается проектировка и дизайн, перенесенный в виртуальную реальность.

Внедрение технологий виртуальной реальности в продаже и дизайне недвижимости. Современный мир архитектуры, дизайна и продажи недвижимости меняется. Технологии виртуальной и дополненной реальности делают эти направления более наглядными на ранних стадиях работ, позволяют оценивать результаты и вносить изменения еще до начала основных и затратных манипуляций (Тренин, 2018: 68–70). А главное – дают возможность быть полностью уверенными в результате. Поэтому проект является актуальным для современной жизненной ситуации (Назарбаев, 2019: 91–96).

Общетеоретической и методологической базой исследования явились системный, аналитический и логический методы, а также методы научной абстракции; статистический анализ.

В результате исследования был глубоко изучен теоретический материал по данному научному направлению, оценены современные ситуации и возможности предлагаемого объекта исследования и выполнен подробный расчет основных экономических показателей для реализации данной идеи, в завершении были перечислены риски невыполнения проекта и предложены мероприятия, подтверждающие максимальную возможность снижения их возникновения.

VR Estate – предоставляет услуги планировки, дизайна, съемки квартир в виртуальной реальности, а также конструирование VR-туров по всем видам недвижимости.

Потенциальными клиентами являются строительные компании, жилые комплексы, владельцы недвижимости.

Благодаря ТОО «VR Estate» вы сможете предоставить потенциальным покупателям квартиры тур, благодаря которому им не нужно будет выходить из дома или ехать в другой город для просмотра недвижимости (Бюро национальной статистики РК, 2022). Еще одной из наших услуг является дизайн квартир, который так же переносится в виртуальную реальность.

Только в июле 2022 года в Казахстане было продано 28 000 квартир и 10 000 домов (Бюро национальной статистики РК, 2022). Многие застройщики утверждают, что VR и AR решения в недвижимости уже сегодня радикально влияют на принятие клиентом решения о покупке или аренде квартиры, дома, коммерческого объекта (Айтбаева, 2021: 64–69).

Среди главных плюсов использования VR можно отметить: более быстрое принятие окончательного решения, чем при применении обычного 2D-макета, рост конверсии продаж недвижимости на 15% (Бюро национальной статистики Республики Казахстан, 2022), более 80% положительных отзывов покупателей недвижимости о внедрении технологии виртуальной и дополненной реальности (Бюро национальной статистики РК, 2022).

Главным достоинством применения Virtual Reality является возможность осматривать имущество, дизайн, планировку и другие аспекты недвижимости удаленно или еще на стадии строительства (Тренев, 2018: 72–73). Интерактивный обзор объектов на 360 градусов с рендерингом в высоком разрешении позволяет сразу увидеть, как будет выглядеть жилье или коммерческая недвижимость после завершения всех строительных, ремонтных, реставрационных работ.

За последние десять лет численность населения Казахстана увеличилась на 15%, до 19,4 млн. человек в 2022 году. Среднегодовой темп прироста населения за данный период составил 1,4%. Общая площадь введенных жилых зданий в эксплуатацию в 2022 году продолжила расти (+4,9%) – 13 134 тыс. м². Объем инвестиций в жилищное строительство повысился в 4,2 раза с 335,7 млрд. до 1 423 млрд. тенге. Ежегодный подъем инвестиций на протяжении семи лет наблюдается двузначными темпами, и в 2022 году рост ускорился до 18,5% с 17,5% годом ранее (Бюро национальной статистики РК, 2022).

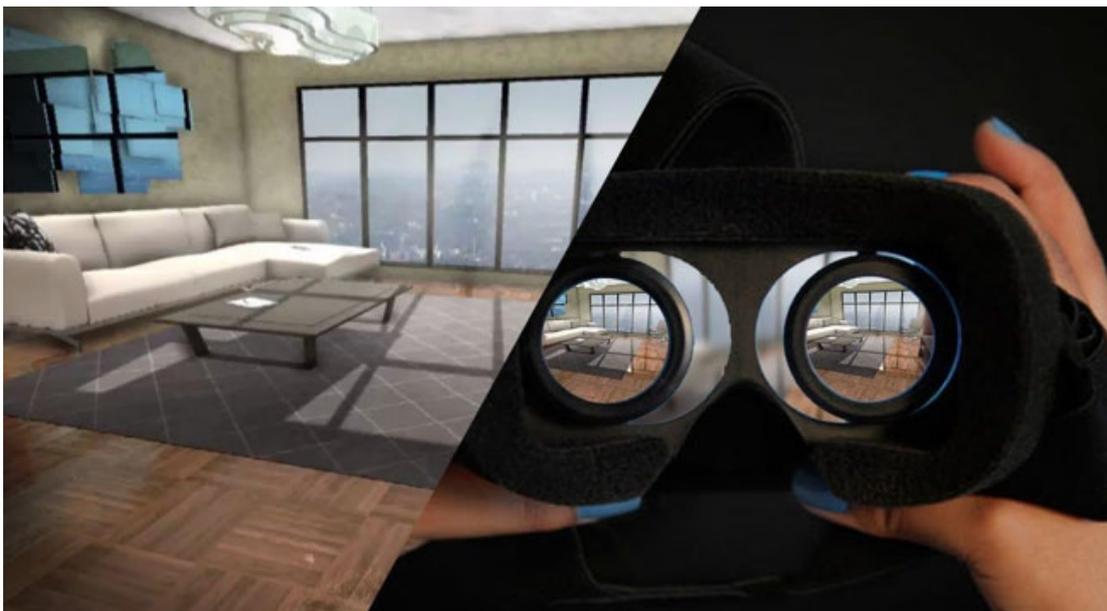


Рис. 1. Пример дизайна

Рост доступности ипотеки вкупе со снижением ставок по ней усилили интерес к приобретению собственного жилья (Кодекс РК, 2023). Рынок недвижимости уникален и не

имеет сезонных ограничений. Покупка жилья всегда востребована, а в связи с увеличением темпов прироста населения становится еще более актуальной (Айтбаева, 2021: 66–76).

Принцип работы: осмотр объекта с целью повышения эффективности продаж. Разработчики могут «сшивать» фотографии, 3D-объекты и видеоролики, что в дальнейшем формируют виртуальное трехмерное пространство, которое клиент изучает посредством очков или шлема виртуальной реальности. И это отлично помогает продавать недвижимость всех типов.

Покупка недвижимости «вслепую». Согласно проводимым исследованиям, треть покупателей жилой недвижимости делают покупку, даже не увидев ее (Бюро национальной статистики РК, 2022). Яркий пример – покупка на стадии строительства. Это на порядок дешевле, однако человек действительно слабо представляет, какой результат его ждет. Виртуальная и дополненная реальность решают эту проблему, позволяя увидеть планировку, оценить размеры комнат, дизайнерские решения, цветовые сочетания и прочее заранее (Тренев, 2018: 72–73).

Реконструкция объектов. Раньше были проблемы с тем, чтобы четко обозначить подрядчикам комплекс работ и конкретные требования по исполнению в ходе реконструкции. Сейчас же технология AR позволяет дополнять реальный объект: отделку, декор, конструктивные элементы, прочее.

Реклама. Красивые и яркие виртуальные туры по объектам недвижимости – куда более эффективная реклама, чем обычные билборды, объявления в интернете, на телевидении и т.д.

VR Estate имеет ряд преимуществ:

- Нативное знакомство с объектом. Обеспечивается эффект полного присутствия с максимальным реализмом.

- Объективная оценка площади.

- Высокая детализация и внимание к деталям. Можно увидеть каждый, даже самый незначительный элемент – вплоть до будущего вида из окна.

- Относительно невысокая цена внедрения. Вложения сравнительно небольшие. А рассматривать объект на месте клиент в режиме VR/AR может даже со своего смартфона или планшета.

- Поддержка множества устройств. Помимо упомянутых телефонов и планшетов для 3D-туров можно использовать компьютеры, ноутбуки, телевизоры и другие гаджеты, воспроизводящие видеоконтент.

За последние десять лет численность населения Казахстана увеличилась на 15%, до 19,4 млн. человек в 2022 году. Среднегодовой темп прироста населения за данный период составил 1,4% (Бюро национальной статистики Республики Казахстан, 2022). Спрос на жилье возрастает ежегодно. В настоящий момент государство продолжает активно содействовать подъему рынка недвижимости в Казахстане. Общая площадь введенных жилых зданий в эксплуатацию в 2022 году продолжила расти (+4,9%) – 13 134 тыс. м². Объем инвестиций в жилищное строительство повысился в 4,2 раза с 335,7 млрд. до 1 423 млрд. тенге (Бюро национальной статистики РК, 2022).

Следует отметить, что ежегодный подъем инвестиций на протяжении семи лет наблюдается двузначными темпами, и в 2022 году рост ускорился до 18,5% с 17,5% годом ранее (Бюро национальной статистики РК, 2022). В последние годы рост доступности ипотеки вкупе со снижением ставок по ней усилили интерес к приобретению собственного жилья (Кодекс РК, 2023).

Рынок недвижимости уникален и не имеет сезонных ограничений. Покупка жилья всегда востребована, а в связи с увеличением темпов прироста населения становится еще более актуальной.

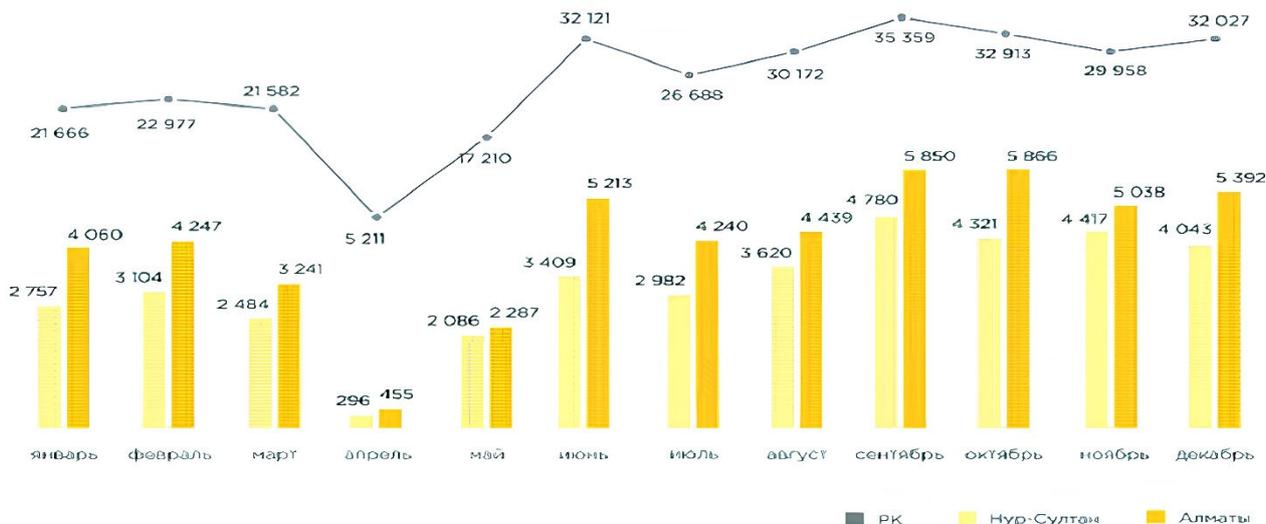


Рис. 2 Количество сделок за 2022 год (Бюро национальной статистики Республики Казахстан, 2022).

Материал и методы.

В таблице 1 представлены услуги, перспективы, недостатки конкурентов и преимущества проекта «VR Estate» перед другими проектами на рынке РК и не только.

Таблица 1 – Конкуренты проекта

Название / Критерий	Преимущества	Недостатки	Перспективы развития	Услуги
VR Estate	Достоверность данных, экономия времени и ресурсов, доступность, возможность осматривать имущество, дизайн, планировку и другие аспекты недвижимости удаленно или еще на стадии строительства, возможность покупки недвижимости за рубежом, отсутствие прямых конкурентов в стране.	Средняя ценовая политика.	Территория РК, весь мир. Одинаковый ценовой сегмент для стран.	VR туры. Дизайн и планировка. Конструирование VR макетов. Съемка.
OLX	Доступность, легкость в использовании, низкая цена.	Нет гарантий, огромное количество мошенников, высокая конкуренция, неточность данных.	Только на территории РК.	Размещение и продвижение объявления.

Krysha	Доступность, легкость в использовании, низкая цена.	Нет гарантий, огромное количество мошенников, высокая конкуренция, неточность данных.	Только на территории РК.	Размещение и продвижение объявления.
Риелторы	Доступность.	Неэффективность, малый охват клиентов, высокая цена.	На территории РК, за рубежом, но по высокой цене.	Продажа и реклама недвижимости.

Спектр услуг и товаров будет отличаться от конкурентов, тем самым простым отличием, мы можем предоставить не только обзор квартиры из любой точки мира, но и дизайн с учетом строения квартиры и пожеланий клиента. Вам не придется делать одну часть своего замысла у данной компании, а вторую у конкурентов, которые могут вам предоставить только выставление объявления с минимально качественным набором фото.

Маркетинговый план требует не только рекламы, но и эффективной работы самого агента, поэтому изучив весь рынок, были подобраны наиболее благоприятные маркетинговые стратегии. Средняя сумма денег, которая запланирована на рекламу, составляет 500 000 тенге в месяц; маркетинговый план реализуется поэтапно. Ценообразование продукта происходит, учитывая затраты на человеческий труд, содержание офиса и сырье.

Начальная цена составляет:

- конструирование VR тура (съемка, конструирование в виртуальной реальности, услуги аренды очков и оборудования) – 220 000 тенге;

- дизайн (планировка) в виртуальной реальности – 150 000 тенге.

Запланированные этапы маркетинга и рекламы (ежемесячные этапы):

- Лендинг – сайт в интернете, вся информация которого представлена на единственной стартовой странице;

- Баннер – графическая реклама, способная привлекать внимание потенциальных клиентов, обеспечивая их необходимой информацией;

- Презентация в PDF – бумажный формат всегда интересен потенциальному покупателю за счет своей наглядности и доступности;

- Реклама в социальных сетях и на различных сайтах;

- Рассылка в почтовые ящики – проводится для жильцов близлежащих домов;

- Сотрудничество с различными партнерами;

- Реклама в местных печатных изданиях;

- Промоакции в местах массового скопления людей;

- Покупка трансляции объявлений на страницах ведущих интернет-порталов с предоставлением отчетов;

- Продвижение видеороликов через YouTube и другие аналогичные сервисы (публикация должна состояться не позднее трех суток с момента съемки);

- Брокер-туры для риелторов и агентов;

- Подписание субагентских договоров;

- Обзвон риелторов, занимающихся реализацией аналогичного жилья;

- Распространение информации в профильных чатах.

Предлагаемая компания предоставляет 2 вида услуг: VR экскурсия по недвижимости и проектировка и дизайн, перенесенный в виртуальную реальность.

VR экскурсия состоит из 2 этапов:

Первый – мобильная виртуальная реальность. Это 3D-модели планировок квартир или панорамные туры. Их можно загрузить на телефон, потом вставить телефон в очки виртуальной реальности.

Второй блок – полномасштабный VR, когда можно свободно «перемещаться» по виртуальному пространству квартиры. В офисах продаж застройщик предоставляет клиенту

шлем виртуальной реальности, а потенциальный покупатель может «ходить» по квартире, присесть, заглянуть под стол и ванну и так далее. Такой инструмент дает клиенту больше возможностей изучить квартиру.

Результаты и обсуждения.

Проектировка и дизайн, перенесенный в виртуальную реальность. Потребитель может заказать дизайн квартиры и в завершении посмотреть, как будет выглядеть этот дизайн с помощью виртуальной реальности.

План разработки:

1. Осмотр помещения, составление анкеты и сбор данных о недвижимости, ее размерах, владельцах, измерение комнат и подробное изучение вместе с риелтором.

2. Благодаря видео-операторам производится трёхмерное фотосканирование – это футуристическая технология, уже доступная для использования в дешёвых мобильных решениях. Фотограмметрия – это использование многочисленных фотографий настоящих объектов с разных ракурсов для построения их моделей. Фотографии импортируются в приложения вроде Agisoft Photoscan и на их основе генерируются подробные сетчатые модели. Затем их вместе с цветовыми/диффузными текстурными картами можно экспортировать и использовать в игровом движке в качестве регулярного ресурса.

3. Построения UI и UX в виртуальной реальности разработчиками. Перенесение готовых фото и видео материалов в виртуальную реальность с дальнейшим программированием и запуском двигателя (программного кода), позволяющего передвигаться по помещению.

4. Запуск программы «экскурсии по помещению» в очки виртуальной реальности через приложение(трансляция). Наша компания предоставляет вам услуги опытных специалистов по продаже, дизайнеров, планировщиков. Мы сотрудничаем как с частными лицами, жилыми комплексами, строительными компаниями.

3D Дизайн интерьера производится следующим образом:

1. Замер. Грамотный замер помещений – основа основ будущего проекта. Анализ и замер помещений. Помечаются на плане коммуникации, проемы, высоты, указываются стороны света.

2. Вычерчивание планировки в масштабе через приложение Remplanner.

3. Технический план – это план для дальнейшей работы над проектом. В нем указываются пожелания по стилю, составу и наполнению помещений и прочую информацию, которая поможет сделать интерьер максимально логичным и соответствующим всем требованиям клиента.

4. Подбор материалов и конструирование технического плана в 3D модель через программу SketchUp, Planner5d (рисунки 3-5).



Рис. 3. Дизайн на компьютере



Рис. 4. 3D дизайн

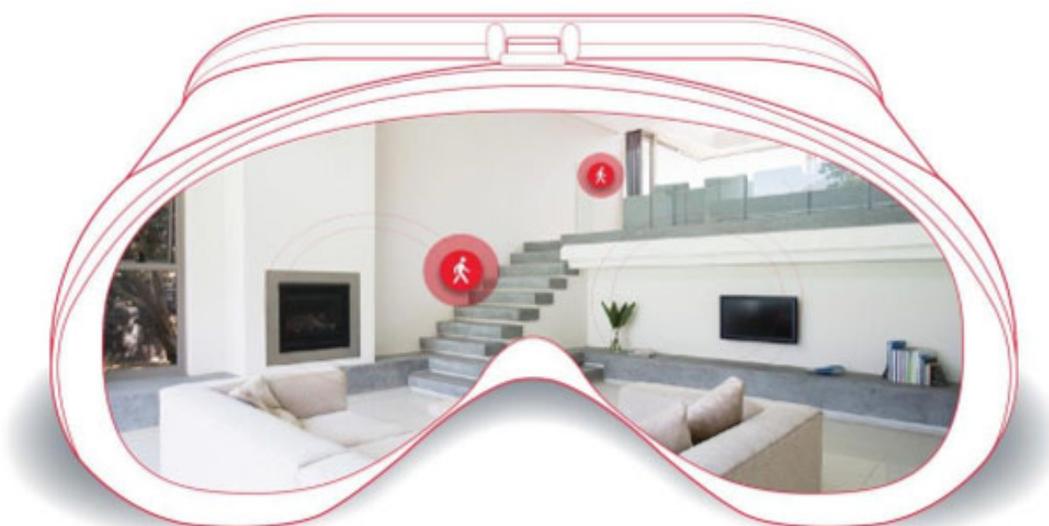


Рис. 5. VR Обзор квартиры

Представим программу деятельности проекта (таблица 2).

Таблица 2 – Программа деятельности проекта

Показатели, ед. изм.	1 год	2 год
Количество сделок за месяц, единиц	25	40
Количество сделок за год, единиц	400	500
Средняя цена 1 сделки, тыс. тенге	150-300	250-500
Выручка от реализации за месяц, тыс. тенге	57000	12000
Выручка от реализации за год, тыс. тенге	90000	16200

В таблицах 3,4 представлены инвестиции проекта и целевое назначение средств проекта.

Таблица 3 – Инвестиции проекта

Наименование	Количество	Цена, тг	Сумма, тг
VR-очки G15	30	10000	300000
Панорамная камера Instal 360	5	220000	1100000
Ноутбук Lenovo Ideal Pad 3	10	230000	2300000

Аренда офиса 90 м ²	1	200000	200000
Приложение Coohom	5	60000	300000
Приложение Planner5D	5	24000	120000
Приложение RemPlanner	5	42000	210000
Adobe Illustrator	5	80000	400000
Всего			4930000

Таблица 4 – Целевое назначение средств проекта

Наименование	Количество	Цена, тг	Сумма, тг
VR-очки G15	30	10000	300000
Программное обеспечение	10	7000	70000
Панорамная камера Instal 360	5	220000	1100000
Ноутбук Lenovo Ideal Pad 3	10	230000	2300000
Аренда офиса (90 м ²)	1	200000	200000
Оплата труда разработчиков	5	300000	1500000
Оплата труда дизайнеров интерьера	5	250000	1250000
Оплата труда риелтора	5	200000	1000000
Оплата труда видео-операторов	5	200000	1000000
Коммунальные услуги	1	40000	40000
Обслуживание офиса	1	50000	50000
Транспорт	10	10000	100000
Реклама	5	100000	500000
Всего			8410000

Для результативной и налаженной работы компании очень важной частью является персонал. Привлечение квалифицированных кадров планируется через собеседования, объявления о свободных вакансиях, среди выпускников ВУЗов и практикантов. На данный момент количество людей в компании составляет 24 человека с возможностью дальнейшего расширения.

Одной из важнейших частей является административно-управленческий персонал. Он включает в себя 4 должности: Директор компании, HR-менеджер, PR-менеджер, Бухгалтер.

Штат работников включает в себя таких специалистов, как разработчики, дизайнеры интерьера, риелторы, видео-операторы.

Штатное расписание ТОО представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Штатное расписание и ФОТ ТОО

Штатные единицы	Кол-во единиц, шт	Месячный оклад (1чел)	ФОТ годовой, тыс.тг (1чел)
Директор компании	1	500000	6000000
HR-менеджер	1	250000	3000000
PR-менеджер	1	250000	3000000
Бухгалтер	1	300000	3600000

Разработчик	5	300000	3600000
Дизайнер интерьера	5	250000	3000000
Риелтор	5	200000	2400000
Видео-оператор	5	200000	2400000
Всего затраты на трудовые ресурсы	24	6050000	72600000

Заработная плата будет фиксированная. В свою очередь будет начисляться бонусы за выработку продукции. Выработка продукции на 15% больше среднего показателя, будет нести за собой выплату 40% от оклада.

Организационная структура ТОО представлена на рисунке 6.

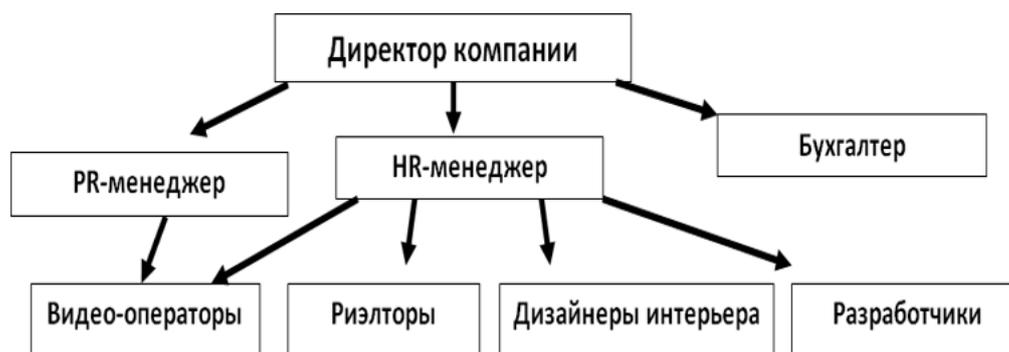


Рисунок 6 - Организационная структура ТОО

При линейно-функциональной структуре функциональные службы получают полномочия управления службами нижнего уровня, которые выполняют соответствующие специальные функции. Однако, делегируются не линейные, а функциональные полномочия. Линейные звенья в этой системе управления призваны командовать, а функциональные звенья – консультировать, помогать в разработке конкретных вопросов и подготовке соответствующих решений, планов.

Любая современная компания, которая ведет экономическую деятельность в той или иной области бизнеса, занимается планированием. Планирование в бизнесе играет если не ведущую, то, по крайней мере, важную роль в вопросах экономической эффективности и направлено на максимизацию эффективности, которую способен показать бизнес.

Финансовый план (ФП) – это организация взаимосвязанных документов управленческого учёта, которые составляют и ведут в целях перспективного планирования и операционного управления ресурсами компании в денежном эквиваленте. Именно финансовый план позволяет обеспечить баланс между плановым и фактическим поступлением выручки, а также плановым и фактическим объёмом расходов, которые несёт компания в ходе своей хозяйственной деятельности.

Из таблицы 6 можно увидеть, что общие расходы на первый год работы компании составляет 83 миллиона тенге. Закупка материалов единоразовая, исходя из того, что основной движущей силой компании являются разработки на компьютерах, ноутбуках. То есть не требуется постоянный закуп техники, что в последствии уменьшает расходы и увеличивает прибыль.

Расходы на рекламные услуги закладываются исходя из средних цен рекламы на рынке и в социальных сетях: Instagram, Facebook, Linked in, а также печатные издательства (газеты, брошюры). Цена на рекламу на месяц в социальных сетях составляет 110000-200000 тенге.

Электроэнергия. Цены были рассчитаны исходя из официальных данных «ШыгысЭнергоТрейд». Тариф для прочих потребителей (потребителей, использующих электрическую энергию не для бытовых нужд) в размере 23,954 тенге/кВтч. Транспортные услуги рассчитывались на количество риелторов, учитывая стоимость месячного проездного, а именно 9000 тенге на взрослого человека.

Аренда офиса в г. Усть-Каменогорске (ВКО), исходя из объявлений на различных сайтах будет стоить от 80 000 тенге до 110 000 тенге в месяц.

Окупаемости компания сможет достигнуть уже в первые два года. Общая прибыль (рассчитанная исходя из количества минимальных заказов) составляет 89 миллионов тенге.

Источники получения средств для деятельности:

1. Грантовые средства.
2. Инвесторы (получение 10% от чистой прибыли).
3. Получение инвестиций через государственные конкурсы или коммерческие организации (Атамекен, Astana hub).

4. 1 500 000 тенге – собственные вложения.

В таблице 6 представлены статьи затрат проекта ТОО.

Таблица 6 – Статьи затрат деятельности ТОО по годам.

Наименование показателей, тыс. тг	1 год	2 год	Всего за проект
Расходы единовременные	4930	-	4930
Расходы на рекламные услуги	2500	2500	5000
Диагностика компьютеров (10 компьютеров)	100	120	220
Электроэнергия	384	384	768
Транспортные услуги	540	540	1080
Прочие затраты	100	150	250
Аренда офиса	1200	1500	2700
Фонд оплаты труда	72600	90000	162600
Соц.налог к уплате	840,096	840,096	1680,192
Всего расходов	83194,096	96034,096	179228,192

В таблице 7 представлен отчет о доходах и расходах проекта ТОО.

Таблица 7 – Отчет о доходах и расходах проекта

Наименование, тыс. тг	Всего	1 год	2 год
Доход от продажи продукции и услуг	402000	110000	192000
Себестоимость оказанных услуг	27000	10000	17000
Валовой доход	72000	24800	47200
Расходы периода	179228,192	83194,096	96034,096
Амортизация	1219,11	486,11	733
КПН	3060,339	1258	1802,339
Чистый доход	89086,731	14219,731	74867

Сбалансированность финансово-экономического состояния компании, которое достигается благодаря качественному финансовому планированию, является главным результатом использования такого инструмента менеджмента, как финансовый план объекта исследования.

Риски – неотъемлемая часть любого проекта. Необходимо помнить, что ни один проект не следует плану на 100%, даже если им руководит опытный менеджер.

В таблице 8 представлены виды рисков проекта.

Таблица 8 – Виды рисков и их отрицательное воздействие

Вид риска	Отрицательное воздействие соответствующего вида риска
Неустойчивость спроса	Падение спроса с ростом цен
Появление альтернативы	Снижение спроса
Снижение цен конкурентов	Снижение цен
Увеличение деятельности конкурентов	Падение продаж или снижение цен
Рост налогов	Уменьшение чистой прибыли
Снижение платежеспособности потребителей	Падение продаж
Рост цен на коммунальные услуги, ГСМ	Снижение прибыли из-за роста цен
Зависимость от поставщиков	Снижение прибыли из-за роста цен
Недостаток оборотных средств	Увеличение кредитов или снижение объемов деятельности

Самые распространённые виды рисков: временные, бюджетные, нарушения в зависимостях, внешние, а также единые точки отказа – события, которые останавливают всю работу команды.

Методы устранения рисков:

1. Неустойчивость спроса. Данная проблема решается путем ввода дополнительной рекламы в различных социальных сетях.

2. Появление альтернативы решается посредством пересмотра цен, маркетингового план и выведения положительных сторон компании.

3. Снижение цен конкурентов и увеличение их деятельности не окажет сильного влияния на ТОО, так как нет прямых конкурентов в ВКО.

4. Рост налогов повлияет на компанию минимально в связи с тем, что не требуется постоянная закупка техники.

5. Снижение платежеспособности потребителей. Данная проблема решается тем, что деятельность ТОО предполагается не только на территории РК, соответственно больший охват равен большему количеству платежеспособных клиентов.

6. Недостаток оборотных средств. Прибыль в финансовом плане была рассчитана исходя из минимального количества выполненных заказов, но даже при этом раскладе окупаемость достигается в первые 1-2 года.

В таблице 9 представлены виды риска и методы его устранения

Таблица 9 – Виды риска и его методы устранения

Вид риска	Методы его устранения
Неустойчивость спроса	Увеличение рекламы и маркетинговых ходов
Снижение платежеспособности потребителей	Выход компании за пределы республики
Недостаток оборотных средств	Поиск инвесторов и грантовых средств

Заключение.

В ходе проведенного исследования были полностью реализованы цели и задачи, поставленные в начале работы. Основной целью проекта являлось изучение возможностей

применения технологий виртуальной и дополненной реальности в сфере недвижимости для повышения эффективности продаж, аренды и проектирования объектов. Для достижения этой цели использовались системный, аналитический и логический подходы, методы научной абстракции, а также статистический анализ данных, отражающих состояние рынка недвижимости Казахстана. Такой комплексный подход позволил выявить ключевые проблемы традиционного процесса покупки недвижимости и определить преимущества внедрения VR/AR технологий как инструментов для улучшения коммуникации с клиентами, оптимизации времени и ресурсов, а также повышения точности визуализации объектов недвижимости.

Результаты исследования показали, что технологии виртуальной реальности способны радикально изменить процесс приобретения и аренды недвижимости. VR-туры и 3D-дизайн интерьера позволяют потенциальным покупателям получить полное представление о квартире, доме или коммерческом объекте без необходимости личного посещения. Это особенно актуально для объектов, находящихся в территориально удаленных регионах, или на стадии строительства. Экономический анализ проекта «VR Estate» подтвердил высокую рентабельность и окупаемость компании в первые два года деятельности, что демонстрирует практическую эффективность предложенной модели. Применение VR-технологий позволяет не только ускорить процесс принятия решений покупателями (сокращая его в два раза по сравнению с традиционными методами), но и повышает конверсию продаж на рынке недвижимости до 15%, улучшает восприятие планировок, дизайна и общей презентации объектов.

Исследование также выявило, что VR-технологии дают значительное преимущество строительным компаниям, риелторам и владельцам объектов: возможность удаленного осмотра, точной оценки площади, дизайна, освещения и других важных параметров недвижимости. Использование VR и AR технологий решает проблему покупки «вслепую», минимизирует риск ошибок при реконструкции объектов и повышает эффективность рекламных кампаний за счет интерактивного и визуально привлекательного контента. Кроме того, проект «VR Estate» обеспечивает возможность выхода на международный рынок, расширяя сферу потенциальных клиентов и увеличивая доходы компании.

Выводы исследования подтверждают гипотезу о том, что применение технологий виртуальной реальности в недвижимости является не только инновационным, но и экономически обоснованным инструментом, способным улучшить качество обслуживания клиентов и оптимизировать внутренние бизнес-процессы компаний. В частности, VR-экскурсии и виртуальный дизайн интерьера позволяют интегрировать современные IT-технологии в архитектуру, продажу и маркетинг недвижимости, что открывает новые перспективы для развития отрасли.

Перспективы дальнейшего внедрения и практического применения результатов исследования достаточно широкие. Среди них: масштабирование услуг на территории других регионов Казахстана и зарубежных стран, интеграция VR-технологий в онлайн-платформы недвижимости, разработка мобильных приложений для самостоятельного просмотра объектов, внедрение интерактивных элементов для более детальной демонстрации планировок и дизайна, а также использование технологий дополненной реальности для реконструкции и модернизации объектов. Кроме того, успешная реализация проекта позволит создать устойчивую модель бизнеса с минимальной зависимостью от поставщиков и конкурентной среды, обеспечивая стабильный рост компании и повышение качества обслуживания клиентов.

Таким образом, исследование подтверждает, что виртуальная и дополненная реальность обладают значительным потенциалом для трансформации рынка недвижимости. Результаты работы показывают, что внедрение таких технологий способствует повышению экономической эффективности, удовлетворенности клиентов и конкурентоспособности компаний. Практическая значимость проекта «VR Estate»

заключается в его возможности решать реальные задачи рынка, обеспечивать инновационное обслуживание клиентов и создавать новые стандарты в сфере продажи, аренды и проектирования недвижимости. Проект открывает перспективы дальнейшего научного исследования в области интеграции VR/AR технологий в другие сектора экономики и демонстрирует высокую актуальность применения цифровых инноваций для развития бизнеса в современных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- Кодекс РК, 2023 — Кодекс Республики Казахстан «О налогах и других обязательных платежах в бюджет (Налоговый кодекс)» (с изменениями и дополнениями на 21.02.2023 г.). — [Электронный ресурс]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31941264. — Дата обращения: 01.12.2025. [Rus.]
- Быстров, 2025 — Быстров М. Обзор рынка недвижимости в Казахстане: тенденции 2025 года. — Finratings.kz. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://finratings.kz/news/402-obzor-rynka-nedvizhimosti-v-kazahstane-tendentsii-2025-goda/>. — Дата обращения: 01.12.2025. [Rus.]
- Тренев, 2018 — Тренев Н.Н. Предприятие и его структура: Диагностика. Управление. Оздоровление: Учебное пособие для вузов. — М.: ПРИОР. — 2018. — 406 с. [Rus.]
- Трудовой кодекс РК, 2023 — Трудовой кодекс Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями на 01.07.2023 г.). — [Электронный ресурс]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30115687. — Дата обращения: 01.12.2025. [Rus.]
- НПП «Атамекен», 2018 — Учебное пособие по обучению основам предпринимательства по проекту «Бастау Бизнес» / НПП «Атамекен». — Астана: ТОО «Шанырак-Медиа», 2018. — 250 с. [Rus.]
- Единая платформа интернет-ресурсов государственных органов РК, 2025 — Единая платформа интернет-ресурсов государственных органов Республики Казахстан [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.gov.kz/?lang=ru>. — Дата обращения: 01.08.2024. [Rus.]
- Бюро национальной статистики РК, 2025 — Официальный сайт Бюро национальной статистики РК [Электронный ресурс]. — URL: <https://stat.gov.kz>. — Дата обращения: 01.08.2024. [Rus.]
- Айтбаева, 2021 — Айтбаева С. Современные тенденции развития малого и среднего бизнеса в Казахстане. — Алматы: ЭкоПресс. — 2021. — 215 с. [Rus.]
- Назарбаев, 2019 — Назарбаев Н. Экономическая политика Казахстана: достижения и перспективы. — Астана: КАЗНУ, 2019. — 310 с. [Rus.]
- World Bank, 2022 — Kazakhstan Economic Update: Growth, Jobs, and Investments. — Washington, D.C.: World Bank, 2022. — 200 p. [Eng.]

REFERENCES

- Kodeks RK, 2023 — Kodeks Respubliki Kazakhstan «O nalogakh i drugikh obyazatel'nykh platezhakh v byudzheth (Nalogovyi kodeks)» (s izmeneniyami i dopolneniyami na 21.02.2023 g.). — [Elektronnyi resurs]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31941264. — Data obrascheniya: 01.12.2025. [in Russ.]
- Bystrov, 2025 — Bystrov M. (2025) Obzor rynka nedvizhimosti v Kazakhstane: tendentsii 2025 goda. — Finratings.kz. — [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://finratings.kz/news/402-obzor-rynka-nedvizhimosti-v-kazahstane-tendentsii-2025-goda/>. — Data obrascheniya: 01.12.2025. [in Russ.]
- Trenev, 2018 — Trenev N.N. (2018) Predpriyatie i ego struktura: Diagnostika. Upravlenie. Ozdorovlenie: Uchebnoe posobie dlya vuzov. — M.: PRIOR, 2018. — 406 p. [in Russ.]
- Trudovoi kodeks RK, 2023 — Trudovoi kodeks Respubliki Kazakhstan (s izmeneniyami i dopolneniyami na 01.07.2023 g.). — [Elektronnyi resurs]. — URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30115687. — Data obrascheniya: 01.12.2025. [in Russ.]
- NPP «Atameken», 2018 — Uchebnoe posobie po obucheniyu osnovam predprinimatel'stva po proektu «Bastau Biznes» / NPP «Atameken». — Astana: TOO «Shanyrak-Media», 2018. — 250 p. [in Russ.]
- Edinaya platforma internet-resursov gosudarstvennykh organov RK, 2025 — Edinaya platforma internet-resursov gosudarstvennykh organov Respubliki Kazakhstan. — [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://www.gov.kz/?lang=ru>. — Data obrascheniya: 01.08.2024. [in Russ.]
- Byuro natsional'noi statistiki RK, 2025 — Ofitsial'nyi sait Byuro natsional'noi statistiki RK. — [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://stat.gov.kz>. — Data obrascheniya: 01.08.2024. [in Russ.]
- Aitbaeva, 2021 — Aitbaeva S. (2021) Sovremennye tendentsii razvitiya malogo i srednego biznesa v Kazakhstane. — Almaty: EcoPress, 2021. — 215 p. [in Russ.]
- Nazarbayev, 2019 — Nazarbayev N. (2019) Ekonomicheskaya politika Kazakhstana: dostizheniya i perspektivy. — Astana: KAZNU, 2019. — 310 p. [in Russ.]
- World Bank, 2022 — Kazakhstan Economic Update: Growth, Jobs, and Investments. — Washington, D.C.: World Bank, 2022. — 200 p. [in Eng.]

ҚАЗАҚСТАН ӨНДІРІС КӨЛІГІ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ
КАЗАХСТАНА
INDUSTRIAL TRANSPORT
OF KAZAKHSTAN

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:
<http://prom.mtgu.edu.kz>

ISSN: 1814-5787 (print)
ISSN: 3006-0273 (online)

Собственник:

Международный транспортно-гуманитарный университет
(Казахстан, г.Алматы).

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
Мылтыкбаева Айгуль Тауарбековна

КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА
Букина Светлана Владимировна

Подписано в печать 15.12.2025. Формат 60x84 1/8. Бумага офсет №1. Гарнитура «Таймс».
Печать RISO. Объем 14,8 усл.п.л. Тираж 500 экз.
Отпечатано и сверстано в ИП «Salem» с.Бескайнар, ул.Мичурин, 52/1, тел.: +77072619261

Издание «Международный транспортно-гуманитарный университет»
Адрес редакции: г. Алматы, мкрн. Жетысу-1, д. 32а.