

**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 №3(87)

июль - сентябрь

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 Ауезхан 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)

Лахно 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 Айнура 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 Bakhytzhan 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. Қонақбай, Л. Маликова КЕШЕНДІ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ЖӘНЕ ӘУЕ КӨЛПІ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕ ТЕРРОРИСТІК СИПАТТАҒЫ ҚЫЛМЫСҚА ҚАРСЫ ІС ҚИМЫЛДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ	7
К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский САҚИНАЛЫ БАТАРЕЯ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ	19
Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина МАШИНА ЖАСАУ ЖӘНЕ ТОРАПТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ЖОБАЛАУҒА АРНАЛҒАН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕЛЕР	32
В. Перевертов, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева НАНОМАТЕРИАЛДАР ЖӘНЕ КӨЛІК МАШИНАЛАРЫН ЖАСАУ БӨЛШЕКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ КЕЗІНДЕГІ ГИБРИДТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ СИНТЕЗІ	44

ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

Д. Шагнахметов, Р. Мвакина ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМНЫҢ АВТОМАТТЫ ЛОКОМОТИВТІК СИГНАЛИЗАЦИЯҒА ӘСЕРІ	58
Г. Еркелдесова, Ә. Турдалиев АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ GPRS АРНАЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ	68
Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева ЦИФРЛЫҚ ПЕДАГОГИКА: ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ПАРАДИГМАНЫҢ ТӨҢКЕРІСТІК ӨЗГЕРІСІ	81
Ә. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, І. Қарабасов КӘСІПОРЫНДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЛОГИСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ІС- ӘРЕКЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ	89

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА

И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Қонақбай, Л. Маликова АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРЕСТУПНОСТИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА НА ОБЪЕКТАХ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА	7
К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКВАЖИН КОЛЬЦЕВОЙ БАТАРЕИ	19
Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛОВЫХ УСТРОЙСТВ	32
В. Перевертов, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева НАНОМАТЕРИАЛЫ И СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	44

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Д. Шагиахметов, Р. Мвакина ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА АВТОМАТИЧЕСКУЮ ЛОКОМОТИВНУЮ СИГНАЛИЗАЦИЮ	58
Г. Еркелдесова, А. Турдалиев ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ GPRS-КАНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	68
Б. Монтаева*, Ж. Рахимгазиева ЦИФРОВАЯ ПЕДАГОГИКА: РЕВОЛЮЦИОННЫЙ СДВИГ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ	81
А. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, И. Карабасов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ	89

CONTENTS

ELECTRICAL POWER ENGINEERING AND TRANSPORT AUTOMATION

I. Asilbekova, G. Muratbekova, Z. Konakbai, L. Malikova TOPICAL ISSUES OF ENSURING COMPREHENSIVE SECURITY AND COUNTERING TERRORIST CRIME IN AIR TRANSPORT FACILITIES	7
K. Estekova, M. Aldanova, A. Sladkovski INTERACTION OF RING BATTERY WELLS	19
Y. Mailybayev, Zh. Zhanatkyzy, G. Morokina AUTOMATED SYSTEMS FOR MECHANICAL ENGINEERING AND DESIGN OF NODAL DEVICES	32
V. Perevertov, M. Abulkasimov, G. Afanasyev, M. Akayeva NANOMATERIALS AND SYNTHESIS OF HYBRID TECHNOLOGIES IN SHAPING PARTS OF TRANSPORT ENGINEERING	44

COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

D. Shagiahmetov, R. Mwakina THE IMPACT OF ROLLING STOCK ON AUTOMATIC LOCOMOTIVE SIGNALING	58
G. Yerkeldesova, A. Turdaliev SIMULATION MODELING OF GPRS CHANNELS OPERATION IN AUTOMATED DISPATCH CONTROL SYSTEMS	68
B. Montayeva, Zh. Rakymgazieva DIGITAL PEDAGOGY: A REVOLUTIONARY SHIFT IN THE PEDAGOGICAL PARADIGM	81
A. Uvalieva, M. Amanova, N. Surashov, I. Karabasov ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF AN INTEGRATED LOGISTICS SYSTEM OF AN ENTERPRISE	89

**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. 3. Number 87 (2025). Pp. 7–18
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.001>
УДК 334.7

**TOPICAL ISSUES OF ENSURING COMPREHENSIVE SECURITY AND
COUNTERING TERRORIST CRIME IN AIR TRANSPORT FACILITIES**

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

Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: larisa.malikova.73@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. Ensuring comprehensive security and countering terrorism-related crimes at air transport facilities in the Republic of Kazakhstan is one of the key priorities of the state policy in the field of transport safety. With the growing threat of terrorism and increasing passenger traffic, this issue becomes more urgent, requiring the implementation of modern technologies and effective coordination among all stakeholders in the aviation sector. The aim of this research is to analyze existing approaches to aviation security, identify vulnerabilities in the counter-terrorism system, and develop recommendations for improving organizational and technical measures. The study reviews national legislation, international standards, and practical experience in airport security systems in Kazakhstan. The results of the analysis show that modern airports apply an integrated protection system, including perimeter and premises security alarms, video surveillance, access control, and fire alarm systems. However, the study also reveals the need to enhance the integration of these systems and improve staff training. In conclusion, effective aviation security requires a systematic approach, continuous threat monitoring, the application of innovative technologies, and close cooperation between government agencies and aviation enterprises.

Keywords: terrorist threat, high-risk facilities, aviation security, unlawful interference, terrorist act

For citation: I. Asilbekova, G. Muratbekova, Z. Konakbai, L. Malikova Topical issues of ensuring comprehensive security and countering terrorist crime in air transport facilities // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 7–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.001>

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



КЕШЕНДІ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ЖӘНЕ ӘУЕ КӨЛІГІ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕ ТЕРРОРИСТІК СИПАТТАҒЫ ҚЫЛМЫСҚА ҚАРСЫ ІС ҚИМЫЛДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

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

Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан.

E-mail: larisa.malikova.73@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 Қонақбай — 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/009-0002-4226-6627>.

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

Аннотация. Әуе көлігі объектілеріндегі кешенді қауіпсіздікті қамтамасыз ету және террористік сипаттағы қылмыстарға қарсы іс-қимыл жасау мәселесі Қазақстан Республикасының көлік қауіпсіздігі саласындағы мемлекеттік саясатының басым бағыттарының бірі болып табылады. Террористік қауіптердің өсуі мен жолаушылар ағынының артуы жағдайында бұл мәселенің өзектілігі арта түсуде және заманауи технологияларды енгізуді, сондай-ақ авиация саласының барлық қатысушылары арасындағы үйлесімділікті талап етеді. Зерттеудің мақсаты – авиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің қолданыстағы тәсілдерін талдау, терроризмге қарсы іс-қимыл жүйесіндегі осал тұстарды анықтау және ұйымдастырушылық-техникалық шараларды жетілдіруге арналған ұсынымдарды әзірлеу. Зерттеу барысында нормативтік-құқықтық актілерге, халықаралық стандарттарға және Қазақстан әуежайларындағы қауіпсіздік жүйелерінің практикалық тәжірибесіне шолу жасалды. Талдау нәтижелері қазіргі заманғы әуежайларда периметр мен үй-жайлардың күзет дабылдары, бейнебақылау, қолжетімділікті бақылау, өрт дабылы және хабарландыру жүйелерін қамтитын кешенді қорғау жүйесі қолданылатынын көрсетті. Сонымен қатар, осы жүйелердің интеграциясын арттыру және персоналды кәсіби даярлау деңгейін көтеру қажеттілігі анықталды. Қорытындылай келе, авиациялық қауіпсіздікті тиімді қамтамасыз ету жүйелі көзқарасты, қауіп-қатерлерді тұрақты мониторингтеуді, инновациялық технологияларды қолдануды және мемлекеттік құрылымдар мен авиация кәсіпорындарының тығыз өзара іс-қимылын талап етеді.

Түйін сөздер: террористік қауіп, жоғары қауіпті объектілер, авиациялық, қауіпсіздік
Дәйексөздер үшін: И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Қонақбай, Л. Маликова Кешенді қауіпсіздікті қамтамасыз етудің және әуе көлігі объектілерінде террористік сипаттағы қылмысқа қарсы іс қимылдың өзекті мәселелері // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 7–18 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.001>

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

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРЕСТУПНОСТИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА НА ОБЪЕКТАХ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

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

Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан.
E-mail: larisa.malikova.73@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 Қонақбай — 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/009-0002-4226-6627>.

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

Аннотация. Обеспечение комплексной безопасности и противодействие преступности террористического характера на объектах воздушного транспорта в Республике Казахстан является одной из приоритетных задач государственной политики в области транспортной безопасности. В условиях роста террористических угроз и увеличения пассажиропотоков актуальность данного вопроса возрастает, требуя внедрения современных технологий и координации между всеми участниками авиационной отрасли. Целью исследования является анализ существующих подходов к обеспечению авиационной безопасности, выявление уязвимых зон в системе противодействия терроризму и разработка рекомендаций по совершенствованию организационно-технических мер. В рамках исследования проведен обзор нормативно-правовых актов, международных стандартов и практического опыта функционирования систем безопасности в аэропортах Казахстана. Результаты анализа показали, что современные аэропорты используют комплексную систему защиты, включающую охранную сигнализацию периметра и помещений, видеонаблюдение, контроль доступа, системы пожарной сигнализации и оповещения. В то же время выявлена необходимость повышения уровня интеграции данных систем и профессиональной подготовки персонала. В заключение подчеркивается, что эффективное обеспечение авиационной безопасности требует системного подхода, постоянного мониторинга угроз, применения инновационных технологий и тесного взаимодействия между государственными структурами и авиационными предприятиями.

Ключевые слова: террористическая угроза, высокорисковые объекты, авиационная
Для цитирования: И. Асильбекова, Г. Муратбекова, З. Қонақбай, Л. Маликова Актуальные вопросы обеспечения комплексной безопасности и противодействия преступности террористического характера на объектах воздушного транспорта // Помышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 7–18. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.001>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Обеспечение общественной безопасности в сфере авиационного транспорта является критически важной проблемой современного общества, так как авиация играет ключевую роль в обеспечении транспортной связности, экономической и социальной стабильности (Базаева, 2014: 5–12). В то же время, аэропорты представляют собой привлекательные цели для террористических актов, что создает актуальную проблемную ситуацию: несмотря на существующие меры безопасности, сохраняется угроза терактов на объектах воздушного транспорта (Афанасьев, 2014: 41–48). Анализ международного опыта показывает, что в разных странах применяются различные подходы к контролю пассажиров

и сотрудников аэропортов, но отсутствует единая универсальная система, способная полностью исключить угрозу (TSA, 2025: 1–5; EIAI, 2025: 1–5) (Рис.1).



Рис.1. Международный аэропорт Астаны, один из крупнейших в стране

Аэропорты особо привлекательны для террористов потому, что, совершенные в них или на самолетах террористические акты производят особенные эффекты на сознание жертв. Авиапассажиры осознают, что кроме того, что они ограничены в передвижении, от совершенного террористического акта может погибнуть любой из них, если не все. У современных террористов действия и цели, во многом имеют сходство с захватчиками. Совершая теракт, они пытаются любым способом локализовать передвижение людей. После совершения терактов, многие авиапассажиры отказываются от поездок (Кобец, 2017: 1).

Актуальность исследования обусловлена высокой социальной и экономической значимостью авиационной инфраструктуры и возрастающей угрозой террористических проявлений в аэропортах. Несмотря на то, что изучено множество аспектов транспортной безопасности, многие вопросы остаются недостаточно исследованными, особенно в части взаимодействия международных и национальных правовых норм, а также применения современных технологий для комплексной защиты пассажиров и персонала (CyberLeninka, 2025).

Объектом исследования являются процессы обеспечения безопасности авиационного транспорта. Предметом исследования выступают правовые, технические и организационные меры, направленные на предотвращение террористических угроз в аэропортах.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования заключается в выявлении и систематизации эффективных мер противодействия террористическим угрозам на объектах воздушного транспорта и оценке их влияния на обеспечение безопасности пассажиров и персонала.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Проанализировать международное и национальное законодательство в сфере противодействия авиационному терроризму.
- Изучить современные системы безопасности аэропортов и их компоненты: видеонаблюдение, контроль доступа, системы сигнализации и пожарной безопасности.
- Систематизировать международный опыт обеспечения безопасности и оценить его применимость в национальной практике.
- Определить роль человеческого фактора в обеспечении комплексной безопасности и разработать рекомендации по минимизации рисков.

В работе применяются методы анализа нормативно-правовых актов, сравнительного изучения международного опыта, системного анализа технических средств безопасности, а также методы обобщения и синтеза информации, позволяющие выявить ключевые тенденции и перспективы совершенствования мер безопасности в авиации.

Предполагается, что комплексное применение правовых, технических и организационных мер, с учетом человеческого фактора, способно существенно снизить вероятность успешного совершения террористического акта в аэропортах.

Научная значимость исследования заключается в систематизации знаний о мерах противодействия авиационному терроризму и выявлении недостатков существующих подходов. Практическая значимость состоит в возможности применения полученных результатов для совершенствования национальных систем безопасности аэропортов и разработки рекомендаций для органов, ответственных за транспортную безопасность.

Материалы и методы.

Исследование правового регулирования воздушного терроризма показало, что оно регламентируется двумя уровнями – международным и национальным законодательством. Международный уровень представлен нормативно-правовыми актами, принятыми ООН, в частности Конвенциями 1963, 1970 и 1971 гг. Указанные конвенции определяют толкование основных понятий данной области правового регулирования, права и обязанности договаривающихся государств, членов экипажа воздушного судна, а также юрисдикцию договаривающихся государств. Однако многие сложные аспекты не были разрешены. Важно отметить, что перечисленные конвенции не применимы к воздушным судам, занятым на военной, таможенной и полицейской службах, что создаёт проблемы в области правового регулирования инцидентов с такими судами (Кобец, 2017: 1).

Национальное законодательство Республики Казахстан включает ряд нормативных актов и мер, направленных на обеспечение безопасности и предотвращение актов терроризма на объектах воздушного транспорта. Среди них:

- Закон РК «О противодействии терроризму» от 13 июля 1999 года № 416 (Закон РК, 1999: 1–5).

- Закон РК «Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации» от 15 июля 2010 года № 339-IV (Закон РК, 2010: 1–5).

- Постановление Правительства РК «Об утверждении Правил выдачи разрешений на осуществление деятельности, которая может представлять угрозу безопасности полетов воздушных судов» от 12 мая 2011 года № 504 (Постановление Правительства РК, 2011: 1–5).

Помимо нормативных актов, вследствие особого интереса террористов к аэропортам, они оснащаются различными устройствами, обеспечивающими безопасность авиапассажиров. Этот процесс должен быть непрерывным, требовать регулярного совершенствования и модернизации (Афанасьев, 2014: 55–57).



Рис.2. Система видеонаблюдения аэропорта



Рис.3. Охран аэропорта Кеннеди, США, Нью-Йорк.

Современные системы безопасности аэропортов являются комплексными и включают: охранную сигнализацию периметров и помещений, системы видеонаблюдения, контроль и управление доступами, охранное освещение, системы пожарной сигнализации и пожаротушения. Они предназначены для защиты всех терминальных залов, служебных и складских помещений, ангаров, мест стоянок авиалайнеров. С их помощью решаются задачи обеспечения защиты от преступных и террористических угроз, охраны всех видов ценностей, предотвращения хищений и вандализма, а также контроля различных процессов жизнедеятельности аэропорта и безопасности воздушного движения (Базаева, 2014: 212–215)

Также необходимо придать особое значение самовольному и незаконному нахождению посторонних на рулевых дорожках и взлетно-посадочных полосах, в ангарах, складах и тех местах, где стоят воздушные суда. Устаревшие системы безопасности в аэропортах не могут обеспечить должного контроля, особенно на объектах, где контроль доступа в служебное помещение или любую иную территорию аэропорта осуществляется только охранником. В таких аэропортах доступ на взлётно-посадочную полосу производится через служебный вход при предъявлении служебного удостоверения или задания (Кобец, 2017: 2).

Анализ многочисленных научных исследований, от диссертационных до монографических работ, посвящённых транспортной безопасности, и в особенности безопасности авиационной, свидетельствует, что сегодня, как и раньше, исследователи обращают особое внимание на проблему контроля за пассажирами (Афанасьев, 2014: 55–57; Базаева, 2014: 212–225). Практика показывает, что возможность совершить террористическую атаку имеет любой человек из персонала аэропорта. В частности, диверсия может быть совершена грузчиком, поскольку он может оставаться незамеченным при хищении багажа, а устроиться на работу ему не составляет труда. В итоге служба безопасности аэропорта концентрируется на центральном входе, тогда как злоумышленники могут проникнуть через служебный вход. Террористами могут стать и бортпроводники. Проведённый анализ показывает, что стюардессы редко остаются на должностях более одного-двух лет, поэтому эти вакансии часто открыты. В лучшем случае бортпроводников досматривают на входе с помощью рамки металлодетектора, а багаж проверяется через интраскоп (Кобец, 2017: 2) (Рис.4).



Рис.4. Рапискан в аэропорту.

Международный опыт борьбы с воздушным терроризмом свидетельствует о необходимости проверок на благонадёжность сотрудников, имеющих доступ к секретным зонам аэропортов. Так, например, работу американских аэропортов контролирует управление по безопасности на транспорте (TSA, 2025: 1–5), так же, как и деятельность их сотрудников, тогда как аэропорты Великобритании находятся в ведении Министерства транспорта и Министерства внутренних дел (Афанасьев, 2014: 55–57). В Нидерландах Министерство юстиции отвечает за аэропорты и их сотрудников, а в Израиле Israel Airlines – главный авиаперевозчик Израиля (далее EI Al) – несет ответственность за все прибывающие самолеты, и всех сотрудников проверяет секретная служба (EI Al Airlines, 2025: 1–5). Сотрудников аэропорта Бен Гурион (международный аэропорт Тель-Авива, главный израильский аэропорт) также тщательно проверяют на благонадёжность. Все убывающие самолеты находятся в ведении Израильских авиационных властей — в обоих случаях государство несет ответственность за безопасность всех полетов, а иностранные авиакомпании передают ему ответственность за их собственную безопасность. EI Al славится обеспечением безопасности пассажиров, и одна из основных причин успеха заключается в том, что некоторые методики безопасности не раскрываются (Кобец, 2017: 3; Гуров, 1999: 14) (Рис.5).



Рис.5. Самолет компании Israel Airlines

Нельзя сказать, что в настоящее время физические меры обеспечения безопасности бесполезны. Наоборот, чем больше проверок на предмет обеспечения физической безопасности, тем более сложной должна быть подготовка к успешному проведению нападения, и чем сложнее план, тем больше шансов провалить его. Но, если нельзя отрицать эффективность физических мер обеспечения безопасности, то вряд ли можно считать их основными, на которые следует опираться службам обеспечения безопасности в аэропортах. Фактически для того, чтобы начать любое нападение внутри пассажирского самолета и добиться успеха, террористам нужна соответствующая система доставки взрывного устройства при помощи людей. Вот в этом и заключается основное преимущество службы безопасности в аэропортах по сравнению с террористами: человек ошибается. Нужен только один профессионально подготовленный сотрудник службы безопасности, чтобы заметить пассажира, представляющего опасность, и нейтрализовать его, тогда как террорист должен пройти через все контрольные пункты, все камеры слежения и мимо каждого сотрудника службы безопасности, не вызвав при этом подозрения (Кобец, 2017: 3; Иванов, 2023: 114–118).

Уже создан робот, способный облегчить таможенную проверку и инспекцию безопасности, он разработан учёными международной компании Thales. С прибором Thales продолжительность досмотра авиапассажиров будет значительно сокращена. Прибор проверит авиапассажиров с помощью биосканирования и напечатает билет, сфотографировав человека. Он также может подсоединиться к компьютерам системы безопасности аэропорта, проверяя по базе данных каждого пассажира на предмет теоретической угрозы. После такой проверки пассажирам не обязательно посещать таможню после приземления в другой стране (Кобец, 2017: 3; Thales Group, 2024: 22–26). (Рис.6)



Рис. 6. Проверка авиапассажиров на тепловизоре

Резюмируя итоги обзора актуальных вопросов обеспечения комплексной безопасности и противодействия преступности террористического характера на объектах воздушного транспорта, необходимо обратить внимание на то, что большинство стран мира озабочены проблемой терроризма и стремятся к ее разрешению. Между тем, необходимо отметить, что ежегодно растет число организационных вопросов противодействия терроризму в сфере авиации. И они выражаются в следующем.

Во-первых, сложность выявления взрывчатых веществ, закамуфлированных под средства связи и иные электронные устройства, которые разрешено проносить на борт.

Во-вторых, несмотря на существующие запреты, преступники пытаются пронести на борт самолета боевое оружие и боеприпасы. Результаты досмотра пассажиров свидетельствуют, что количество изъятых запрещенных веществ, растет с каждым годом во всем мире.

В-третьих, помимо террористических актов в аэропортах и на борту самолетов, возникают ситуации, которые угрожают поразить воздушное судно с земли.

В-четвертых, сегодня многочисленные террористические организации обладают техникой и вооружением, которые дают им возможность поразить в воздухе не только гражданское, но и любое воздушное судно (Базаева, 2014: 222–225).

В-пятых, развитие технических средств позволяет террористам совершать кибератаки на оборудование аэропортов выводя из строя компьютерные системы, отслеживающие воздушные коридоры.

В-шестых, недостаточно совершенную борьбу с воздушным терроризмом, ряд исследователей относят к отсутствию четкой правовой базы противодействия рассматриваемому феномену (Кобец, 2017: 16; Савинкова, 2012: 38).

Результаты и обсуждения.

Помимо решения правовых проблем борьбы с терроризмом, каковы же первоочередные меры, направленные на противодействие терроризму в авиационной сфере? Сегодня необходимо признать, что, к сожалению, полностью защитить от угрозы террористического акта не сможет никакая, даже самая идеальная система безопасности. Но свести к минимуму все возможности совершения террористических атак можно при помощи следующих мер (Кобец, 2017: 16).

Во-первых, все двери необходимо оснастить барьерами, которые оборудованы инфракрасными извещателями. Оснастить системами теле-видео наблюдения периметры летных полей, терминальные залы, привокзальную площадь, взлетно-посадочные полосы, рулежные дорожки, входы во все служебные и технические помещения, складские помещения, ангары, самолетные стоянки. Помимо стационарных камер, необходимо практиковать использование интеллектуальных детекторов движения с алгоритмами обработки видеосигналов, позволяющих: отграничить нарушителей от фона, не допускать ложных тревог, вызванных осадками в виде ветра и снега, а также птицами, отслеживать траектории движения нарушителей. Системы видеонаблюдения, осуществляющие контроль подступов к самолетам, должны быть с хорошим разрешением и способные выявлять нарушителей. В целях эффективного противодействия террористическим угрозам в аэропортах в ночное время, следует применять тепловизоры, так как они не требуют дополнительного освещения и распознают инфракрасное излучение. Они могут различить изображение в тумане, во время задымления и пр. (Кобец, 2017: 16).

Во-вторых, совместно с системами теле-видео наблюдения необходимо использовать различные системы охранных сигнализаций всех периметров. Новейшие системы охранных сигнализаций устроены таким образом, что после поступления сигнала от охранных сигнализаций камеры видеонаблюдения, расположенные около меты нарушения периметра, в автоматическом режиме начинают отображать нарушенную зону. Автоматически также срабатывает тревожный звуковой сигнал. В целях охраны периметров предназначены всевозможные извещатели, начиная от вибрационных и проводно-волновых, до радиолучевых и линейных инфракрасных. Если протяженность периметров аэропорта очень большая, то можно применять вибрационную кабельную систему. Ее элементы следует располагать на козырьках ограждений, на сетчатых ограждениях или колючей проволоке. Вибрационная система хороша тем, что ее действие основано на методе проводной радиолокации. Она способна отделять полезные сигналы от помех, которые вызваны природными и техногенными причинами. Извещатель такой системы, является всепогодным и не имеет ограничений при применении, не требуя зоны отчуждения. Принцип пассивного действия не требует большой потребляемой мощности

электроэнергии. Основные ворота оснащаются самостоятельной охранной зоной с целью быстрого реагирования на различные ситуации. Технологические ворота входят в те охраняемые участки периметров, на которых они расположены (Кобец, 2017: 16).

В-третьих, вход в служебные и технические зоны необходимо осуществлять только по электронным пропускам, в виде индивидуальных бесконтактных магнитных карт. Они должны быть со сложными алгоритмами работы, и исключать проход посторонних лиц с использованием проходных документов персонала аэропорта. Все служебные входы в аэропорт следует оснастить турникетами, работающими только с использованием магнитных карт. Рядом с турникетами необходимо оборудовать рабочее место оператора, укомплектованное фотоидентификационными средствами, которые не позволяли бы проходить через турникет без сверки данных оператора в пропуске с имеющимися у него списками персонала. Такие меры существенно смогут снизить воздействия главных условий «сбоя» системы безопасности – человеческого фактора. Системы контроля и управления доступом должны быть гибкими, мощными, отказоустойчивыми, универсальными и наращиваемыми. Считывающих устройств, которые подключаются к одному контроллеру, должно быть много на случай роста числа пользователей: персонал, гости и пр. Системы должны работать и в автономном режиме в случаях обрыва сети, или выхода из строя компьютерной системы (Кобец, 2017: 16).

Заключение.

Актуальность исследования обеспечения комплексной безопасности объектов воздушного транспорта определяется возросшей степенью угроз со стороны преступных и террористических проявлений, а также высокой социальной и экономической значимостью авиационной инфраструктуры. Аэропорты выступают критическими транспортно-логистическими узлами, обеспечивающими связность регионов и государств; одновременно их открытая, многопрофильная структура делает их привлекательной целью для злоумышленников. Проведённый анализ международных и национальных нормативно-правовых актов показывает: существующая правовая база задаёт базовые принципы взаимодействия государств и операторов, но в ряде аспектов требует уточнения и гармонизации — особенно в области инцидентов, связанных с воздушными судами, находящимися на военной, таможенной или полицейской службе.

Технические и организационные меры безопасности в современном аэропорту представляют собой многоуровневую систему: периметровая защита, видеонаблюдение, контроль доступа, системы пожарной безопасности, скрининг пассажиров и обработка багажа. Комплексный подход, основанный на сочетании физических барьеров и продвинутых технологий (интеллектуальная видеоаналитика, тепловизионные приборы, биосканеры, автоматизированные системы контроля доступа), увеличивает порог сложности реализации террористического замысла и тем самым снижает вероятность его успешной реализации. Однако технические средства сами по себе не являются панацеей: значимым остаётся человеческий фактор — уязвимость, связанная с доступом сотрудников к закрытым зонам и недостаточной проверкой благонадёжности персонала. Международный опыт (TSA, практика E1 A1 и др.) демонстрирует важность строгих процедур верификации сотрудников, сокрытия специфики некоторых методик безопасности и ответственного государственного регулирования.

Особое внимание следует уделять интеграции систем — взаимосвязанная архитектура видеонаблюдения, детекторов и контроля доступа с возможностью автоматического реагирования позволяет существенно сократить время обнаружения и локализации инцидента. Параллельно необходимо повышать устойчивость критической ИТ-инфраструктуры аэропортов к кибератакам и разрабатывать процедуры устойчивого функционирования при отказах автоматизированных систем (автономные режимы, резервирование данных и каналов связи).

Практические рекомендации, вытекающие из обзора, включают:

- 1) внедрение многослойной системы контроля доступа с биометрической идентификацией и строгим администрированием прав;
- 2) развитие интеллектуальной видеоаналитики и тепловизионных систем для ночного и неблагоприятного погодного наблюдения;
- 3) регулярную проверку благонадёжности сотрудников, имеющих доступ в секретные зоны;
- 4) модернизацию правовой базы в части инцидентов с военными и специальными воздушными судами;
- 5) развитие тренировочных программ и межведомственного взаимодействия для быстрого реагирования на угрозы.

В заключение, повышение уровня авиационной безопасности возможно только при сочетании технических инноваций, жёсткой правовой регламентации и постоянного внимания к человеческому фактору. Государство, авиакомпании и операторы аэропортов должны действовать согласованно, чтобы минимизировать риски и сохранить доверие пассажиров и эффективность воздушного сообщения.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьев, 2014 — Афанасьев В.Г. Аэрополитика и регулирование международного воздушного транспорта. — М.: Авиашкола Аэрофлота. — 2014. — 414 с.
- Базаева, 2014 — Базаева Е.В. Перевозка грузов воздушным транспортом: учебное пособие. — М.: Авиабизнес. — 2014. — 360 с.
- Афонин, 2014 — Афонин А.М., Воробьёв П.А., Козлов Д.В. Транспортная логистика: организация перевозки грузов. — М.: Форум: ИНФРА-М. — 2014. — 384 с.
- Гуров, 1999 — Практика борьбы с терроризмом за рубежом / под ред. А.И. Гурова. — М.: ВНИИ МВД России, 1999. — 90 с.
- Закон РК, 1999 — Закон Республики Казахстан «О противодействии терроризму» от 13 июля 1999 г. №416 // Adilet. Информационно-правовая система. — 1999. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z990000416>. — С.1–5. — Дата обращения: 03.11.2024.
- Закон РК, 2010 — Закон Республики Казахстан «Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации» от 15 июля 2010 г. №339-IV // Adilet. Информационно-правовая система. — 2010. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z100000339>. — С.1–5. — Дата обращения: 03.11.2024.
- EI Al, 2025 — El Al Airlines. Официальный сайт авиакомпании El Al // El Al Airlines. — 2025. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.elal.com/ru/Russia/Pages/default.aspx>. — С.1–5. — Дата обращения: 12.12.2024.
- IATA, 2016 — International Air Transport Association (IATA). IATA Ground Operations Manual (IGOM). — Montreal: IATA. — 2016. — 190 p. [Eng.]
- Постановление Правительства РК, 2011 — Постановление Правительства Республики Казахстан «Об утверждении Правил выдачи разрешений на осуществление деятельности, которая может представлять угрозу безопасности полётов воздушных судов» от 12 мая 2011 г. №504 // Adilet. Информационно-правовая система. — 2011. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100000504>. — С.1–5. — Дата обращения: 03.11.2024.
- Савинкова, 2012 — Савинкова Е.Н. Особенности преступности террористической направленности на транспорте // Транспортное право. — 2012. — № 3. — С. 36–38.
- TSA, 2025 — Администрация транспортной безопасности (TSA) // Wikipedia. — 2025. — [Электронный ресурс]. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Администрация_транспортной_безопасности_\(США\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Администрация_транспортной_безопасности_(США)). — С.1–5. — Дата обращения: 03.11.2024.

REFERENCES

- Afanasyev, 2014 — Afanasyev, V.G. (2014). Aeropolitika i regulirovanie mezhdunarodnogo vozdušnogo transporta [Air policy and regulation of international air transport]. Moscow: Aviashkola Aeroflota. — 414 p. [in Russ.]
- Bazaeva, 2014 — Bazaeva, E. V. (2014). Perevozka gruzov vozdushnym transportom: uchebnoe posobie [Air cargo transportation: textbook]. Moscow: Aviabusiness. — 360 p. [in Russ.]
- Afonin, 2014 — Afonin, A.M., Vorob'ev, P.A., & Kozlov, D.V. (2014). Transportnaya logistika: organizatsiya perevozki gruzov [Transport logistics: cargo transportation organization]. Moscow: Forum: INFRA-M. — 384 p. [in Russ.]

Gurov, 1999 — Gurov, A.I. (Ed.). (1999). *Praktika bor'by s terrorizmom za rubezhom* [Practice of counter-terrorism abroad]. Moscow: VNII MVD Rossii. — 90 p. [in Russ.]

Zakon RK, 1999 — Zakon Respubliki Kazakhstan “O protivodeistvii terrorizmu” ot 13 iyulya 1999 g. No. 416 [Law of the Republic of Kazakhstan on countering terrorism, 1999]. Adilet. Retrieved from: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z990000416_ (accessed 03.11.2024). — 5 p. [in Russ.]

Zakon RK, 2010 — Zakon Respubliki Kazakhstan “Ob ispol'zovanii vozdushnogo prostranstva Respubliki Kazakhstan i deyatel'nosti aviatsii” ot 15 iyulya 2010 g. No. 339-IV [Law on the use of airspace and aviation activities in Kazakhstan, 2010]. Adilet. Retrieved from: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z100000339_ (accessed 03.11.2024). — 5 p. [in Russ.]

EIAl, 2025 — El Al Airlines. (2025). *Ofitsial'nyi sait aviakompanii El Al* [Official website of El Al Airlines]. Retrieved from: <https://www.elal.com/ru/Russia/Pages/default.aspx> (accessed 12.12.2024). — 5 p. [in Russ.]

IATA, 2016 — International Air Transport Association (IATA). (2016). *IATA Ground Operations Manual (IGOM)*. Montreal: IATA. — 190 p. [in Eng.]

Postanovlenie Pravitelstva RK, 2011 — Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan “Ob utverzhdenii Pravyi vydachi razreshenii na osushchestvlenie deyatel'nosti, kotoraya mozhet predstavlyat ugrozu bezopasnosti polyotov vozdushnykh sudov” ot 12 maya 2011 g. No. 504 [Government Decree on approval of rules for permits for activities that may pose a threat to flight safety]. Adilet. Retrieved from: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1100000504> (accessed 03.11.2024). — 5 p. [in Russ.]

Savinkova, 2012 — Savinkova, E.N. (2012). *Osobennosti prestupnosti terroristicheskoi napravlenosti na transporte* [Features of terrorist-oriented crime in transport]. *Transportnoe pravo*, 3, 36–38. [in Russ.]

TSA, 2025 — TSA. (2025). *Administratsiya transportnoi bezopasnosti (TSA)* [Transportation Security Administration, USA]. Wikipedia. Retrieved from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Администрация_транспортной_безопасности_\(США\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Администрация_транспортной_безопасности_(США)) (accessed 03.11.2024). — 5 p. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 19–31
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.002>

УДК 622.276.43

INTERACTION OF RING BATTERY WELLS

K. Estekova^{1}, M. Aldanova^{1*}, A. Sladkovski²*

¹International University of Transport and humanities;

²Silesian Technical University, Poland, Katowice.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz

Kanshaiym Estekova — candidate of historical sciences, International University of Transport and humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

Margarita Aldanova — senior lecturer, International University of Transport and humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ritka111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

Aleksandr Sladkovski — doctor of Technical Sciences, professor, Silesian Technical University, Poland, Katowice.

E-mail: aleksander.sladkowski@polsl.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© K. Estekova, M. Aldanova, A. Sladkovski

Abstract. This study examines the development and operation of wells, as well as the phenomenon of well interference in productive reservoirs. The relevance of the topic is determined by the need to optimize the operation of oil and gas fields and minimize losses during drilling and production, taking into account the hydrodynamic connection between wells. The aim of the research is to analyze the inflow of liquids and gases to wells, assess interference effects, and evaluate the impact of various operational modes of well batteries. The objectives include studying well operation modes, determining interference coefficients, analyzing well placement in a ring battery configuration, and assessing the influence of well design and fluid properties on total well production. The study analyzed three well operation modes: constant bottom-hole pressure, constant flow rate, and variable parameters. It was found that the total production of a group of wells depends on their arrangement and number, and interference coefficients allow predicting the reduction in the efficiency of individual wells. Placement of wells in a ring battery configuration contributes to optimizing field performance and minimizing mutual influence between wells. The results confirm the importance of a comprehensive approach to well planning and operation, considering both hydrodynamic connections and physical-chemical properties of the fluid. Practical applications include selection of operational modes, forecasting the efficiency of water or gas injection activities, and optimizing the planned number of wells.

Keywords: wells, drilling, interference, flow rate, pressure, ring battery, porous medium.

For citation: K. Estekova, M. Aldanova, A. Sladkovski. Interaction of ring battery wells//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 19–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.002>

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

САҚИНАЛЫ БАТАРЕЯ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ



К. Естекова¹, М. Алданова^{1}, А. Сладковский²*

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

²Силез техникалық университеті, Катовице, Польша.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz

Каншайым Естекова — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

Маргарита Алданова — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: ritka111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

Александр Сладковский — т.ғ.к., Силез техникалық университеті, Катовице, Польша.

E-mail: aleksander.sladkowski@polsl.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский

Аннотация. Бұл зерттеуде ұңғымаларды дамыту және пайдалану мәселелері, сондай-ақ өндіруші қабаттардағы ұңғымалардың өзара әрекеттесуі қарастырылған. Зерттеу тақырыбының өзектілігі мұнай-газ кен орындарының тиімділігін арттыру және ұңғымаларды бұрғылау мен пайдалану кезінде шығындарды азайту қажеттілігімен анықталады, ұңғымалардың гидродинамикалық байланысын ескере отырып. Зерттеудің мақсаты — ұңғымаларға сұйықтық пен газдың келу заңдылықтарын талдау, өзара әсер ету эффектілерін бағалау және ұңғымалар батареясының әртүрлі жұмыс режимдерінің әсерін анықтау. Зерттеу міндеттері: ұңғымалардың жұмыс режимдерін зерттеу, өзара әрекеттесу коэффициенттерін анықтау, ұңғымаларды шеңберлі батарея түрінде орналастыруды талдау, сондай-ақ ұңғыманың конструкциясы мен қабат сұйықтығының физикалық қасиеттерінің жалпы дебитке әсерін бағалау. Зерттеу барысында үш жұмыс режимі қарастырылды: тұрақты шұңқыр қысымы бар режим, тұрақты дебит режимі және параметрлері өзгертін режим. Ұңғымалардың жалпы дебиті олардың орналасуы мен санына байланысты екені анықталды, ал өзара әрекеттесу коэффициенттері жеке ұңғымалардың тиімділігін болжауға мүмкіндік береді. Шеңберлі батарея түрінде ұңғымаларды орналастыру кен орнының жұмысын оңтайландыруға және ұңғымалардың өзара әсерін азайтуға көмектеседі. Зерттеу нәтижелері бұрғылау және пайдалану жоспарын әзірлеуде кешенді тәсілдің маңызды екенін, сондай-ақ сұйықтықтың физикалық-химиялық қасиеттерін және ұңғымалардың гидродинамикалық байланысын ескеру қажеттілігін растайды. Практикалық қолдану: жұмыс режимін таңдау, су және газ қысымын бақылау шараларының тиімділігін болжау және жобалық ұңғымалар санын оңтайландыру.

Түйін сөздер: ұңғымалар, бұрғылау, өзара әрекеттесу, дебит, қысым, шеңберлі батарея, қуысты орта

Дәйексөздер үшін: К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский. Сақиналы батарея ұңғымаларының өзара әрекеттесуі//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 19–31 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.002>

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКВАЖИН КОЛЬЦЕВОЙ БАТАРЕИ

К. Естекова¹, М. Алданова^{1}, А. Сладковский²*

¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

²Силезский технический университет, Катовице, Польша.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz

Каншайым Естекова — к.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

Маргарита Алданова — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: ritka111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

Александр Сладковский — к.т.н., Силезский технологический университет, Катовице, Польша.

E-mail: aleksander.sladkowski@polsl.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский

Аннотация. В настоящем исследовании рассматриваются вопросы разработки и эксплуатации скважин, а также явление взаимодействия скважин в продуктивных пластах. Актуальность темы определяется необходимостью оптимизации работы нефтегазовых месторождений и минимизации потерь при бурении и эксплуатации, учитывая гидродинамическую связь между скважинами. Цель работы — анализ закономерностей притока жидкости и газа к скважинам, оценка эффектов интерференции и влияние различных режимов работы батарей скважин. Задачи исследования включают изучение режимов работы скважин, определение коэффициентов взаимодействия, анализ размещения скважин в виде кольцевой батареи, а также оценку влияния конструкции скважины и физических свойств пластовой жидкости на суммарный дебит. В ходе исследования были проанализированы три режима работы скважин: с постоянным забойным давлением, с постоянным дебитом и с изменяющимися параметрами. Выявлено, что суммарный дебит группы скважин зависит от их расположения и числа, а коэффициенты взаимодействия позволяют прогнозировать снижение эффективности отдельных скважин. Расположение скважин в форме кольцевой батареи способствует оптимизации работы месторождения и минимизации взаимного влияния скважин. Результаты работы подтверждают важность комплексного подхода к планированию бурения и эксплуатации, учитывающего гидродинамическую связь между скважинами и физико-химические свойства жидкости. Практическое применение результатов включает выбор режима эксплуатации, прогнозирование эффективности водонапорных и газонапорных мероприятий, а также оптимизацию проектного числа скважин.

Ключевые слова: скважины, бурение, интерференция, дебит, давление, кольцевая батарея, пористая среда.

Для цитирования: К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский. Взаимодействие скважин кольцевой батареи//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 19–31. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.002>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Ввод в эксплуатацию новых скважин создаёт новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине; в новых условиях поток распределяется между всеми действующими скважинами, которые образуют батарею скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 112–115). Взаимодействие скважин кольцевой батареи — совместное действие в пласте большой протяженности эксплуатационных скважин, центры которых помещаются в вершинах правильного многоугольника, формируя кольцевую батарею (Грей, 2001: 45–49). Проблемная ситуация заключается в том, что до настоящего времени отсутствуют комплексные исследования, учитывающие влияние кольцевой батареи скважин на суммарный дебит при различных режимах работы и неоднородных пластах (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 78–82).

Актуальность темы определяется общим интересом к изучению закономерностей работы скважин в батареях и необходимости оптимизации их размещения для повышения экономической эффективности добычи углеводородов (Konyukhov, Krasnov, Chekalin, 2017: 135–140). Несмотря на существующие теоретические и практические исследования, отсутствует исчерпывающий анализ влияния различных режимов работы, неоднородности пласта и анизотропии на суммарный дебит батареи (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 67–72).

Объект исследования — эксплуатационные скважины на нефтяных и газовых месторождениях, объединённые в батареи (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 120–125). Предмет исследования — процессы взаимодействия скважин (интерференция) и их влияние на дебит и забойное давление при различных режимах работы и структурно-неоднородных условиях пласта (Грей, 2001: 50–53).

Цель исследования — изучить закономерности взаимодействия скважин в батарее и определить оптимальные условия их размещения и эксплуатации для максимизации суммарного дебита (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 80).

Задачи исследования:

- Проанализировать влияние количества скважин и их расположения на суммарный дебит батареи.
- Исследовать эффект интерференции при различных режимах работы скважин.
- Оценить влияние неоднородности и анизотропии пласта на взаимодействие скважин.
- Разработать рекомендации по оптимальному размещению скважин в кольцевой батарее.

В работе использованы методы подземной газогидродинамики, математического моделирования фильтрации несжимаемой жидкости, а также анализ существующих экспериментальных и промысловых данных (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 81; Кроршмак, Шамазов, 2016).

Предполагается, что оптимальное размещение скважин в кольцевой батарее с учётом неоднородности и анизотропии пласта позволяет максимизировать суммарный дебит при минимальном числе эксплуатационных скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 125–127).

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных рекомендаций при проектировании разработки месторождений, что способствует повышению экономической эффективности добычи нефти и газа (Грей, 2001: 53; Муравьев, Андриасивов, 2018). Теоретическая значимость — уточнение закономерностей интерференции скважин и их влияния на дебит и давление в сложных геологических условиях (Мухер, Шакиров, 1981; Итенберг, Дахкильгов, 1982: 72).

Материалы и методы.

Ввод в эксплуатацию новых скважин создаёт новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине; в новых условиях поток направляется не к одной скважине, а распределяется между всеми действующими скважинами, которые образуют батарею скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 112–115).

Взаимодействие скважин кольцевой батареи — это совместное действие в пласте большой протяженности эксплуатационных скважин, центры которых помещаются в вершинах правильного треугольника, так что скважины образуют кольцевую батарею. На окружности контур питания пласта удален от скважин на расстояние, значительно превышающее радиус кольцевой батареи, при этом приближенно можно считать, что все скважины находятся на одинаковом расстоянии (Грей, 2001: 45–49).

Когда действуют батареи скважин в пласте большой протяженности, например, при водонапорном режиме, тогда жидкость можно рассматривать как несжимаемую (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 78–82).

Если же в пласте растворенного газа площадь, занятая газированной жидкостью, простирается до границ пласта, которые больше площади внутри окружности батареи, тогда

фильтрационное поле всякой кольцевой батареи с равнодебитными скважинами, размещенными в вершинах правильного многоугольника, делится на столько одинаковых частей (секторов), сколько скважин в батарее (Konyukhov, Krasnov, Chekalin, 2017: 135–140).

Скважины, используемые для водозабора, представляют собой подземное заборное сооружение и состоят из обсаженной горной выработки и оборудования для забора подземной воды (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 67–72).

Взаимодействие скважин, влияние откачки воды из одной скважины (или колодца) на другие, выражающееся в том, что воронки депрессий, создаваемые откачкой, частично перекрывают друг друга, вследствие чего производительность каждой скважины снижается (Мухер, Шакиров, 1981: 90–95).

Интерференция скважин — это взаимодействие работающих нефтяных, газовых или водяных скважин, пробуренных с поверхности на один продуктивный пласт или на разные, но гидродинамически связанные пласты (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 118–120). Она обусловлена тем, что нефть, газ и вода подвижны, а поры продуктивных пластов связаны в единую систему поровых каналов и трещин. При этом скважины одинакового назначения «мешают» друг другу, перехватывая притекающую к ним жидкость (или газ). В результате дебит каждой из нескольких работающих скважин всегда меньше дебита единичной скважины при прочих равных условиях (Грей, 2001: 50–53).

Этот факт обуславливает принципиальную особенность разработки месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых: все эксплуатационные скважины рассматриваются только в совокупности, в их взаимодействии в общем технологическом процессе разработки. Законы интерференции изучаются специальной наукой о фильтрации — подземной газогидродинамикой (Чарный, 2006: 45–48).

Бурение — это процесс сооружения скважины путем разрушения горных пород (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 101–105). Скважиной называют горную выработку круглого сечения, сооружаемую без доступа в нее людей, у которой длина во много раз больше диаметра (Грей, 2001: 30–35).

Верхняя часть скважины называется устьем, дно — забоем, боковая поверхность — стенкой, а пространство, ограниченное стенкой, — стволом скважины. Длина скважины — это расстояние от устья до забоя по оси ствола, а глубина — проекция длины на вертикальную ось. Длина и глубина численно равны только для вертикальных скважин, однако они не совпадают у наклонных и искривленных скважин (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 70–71).

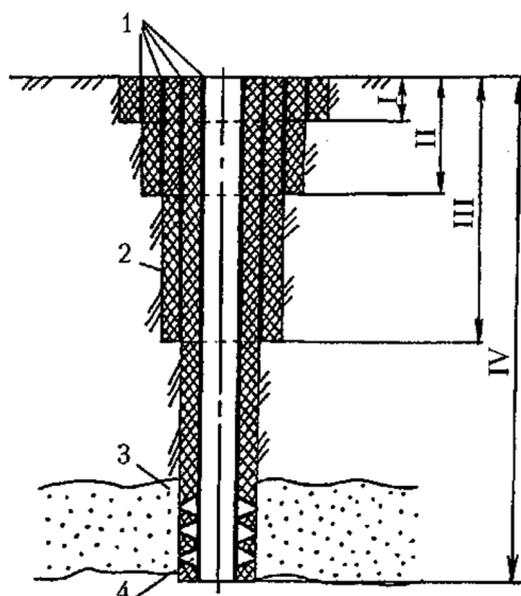


Рис. 1. Конструкция скважины: 1-обсадные трубы; 2-цементный камень; 3-пласт; 4-перфорация в обсадной трубе и цементном камне; I-направление; II-кондуктор; III-промежуточная колонна; IV - эксплуатационная колонна.

Элементы конструкции скважин приведены на рис. 1. Начальный участок I скважины называют направлением. Поскольку устье скважины лежит в зоне легкоразмываемых пород, его необходимо укреплять. В связи с этим направление выполняют следующим образом: сначала бурят шурф — колодец до глубины залегания устойчивых горных пород (4–8 м), затем в него устанавливают трубу необходимой длины и диаметра, а пространство между стенками шурфа и трубой заполняют бутовым камнем и заливают цементным раствором (Телков, Грачёв, Краснов, Сохошко, 2000: 35–38).

Нижерасположенные участки скважины — цилиндрические. Сразу за направлением бурится участок на глубину от 50 до 400 м диаметром до 900 мм. Этот участок скважины закрепляют обсадной трубой — кондуктором II (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 110–112).

Затрубное пространство кондуктора цементируют. С помощью кондуктора изолируют неустойчивые, мягкие и трещиноватые породы, осложняющие процесс бурения.

После установки кондуктора не всегда удается пробурить скважину до проектной глубины из-за прохождения новых осложняющих горизонтов или необходимости перекрытия продуктивных пластов, которые не планируется эксплуатировать данной скважиной. В таких случаях устанавливают и цементируют еще одну колонну — промежуточную III (Муравьев, Андриасивов, 2018: 120–125). Если продуктивный пласт, для разработки которого предназначена скважина, залегает очень глубоко, количество промежуточных колонн может быть больше одной.

Последний участок IV скважины закрепляют эксплуатационной колонной. Она предназначена для подъема нефти и газа от забоя к устью скважины или для нагнетания воды (газа) в продуктивный пласт с целью поддержания давления в нем. Во избежание перетоков нефти и газа в вышележащие горизонты, а воды — в продуктивные пласты, пространство между стенкой эксплуатационной колонны и стенкой скважины заполняют цементным раствором (Кроршмак, Шамазов, 2016: 95–100).

Для извлечения из пластов нефти и газа применяют различные методы вскрытия и оборудование забоя скважины. В большинстве случаев в нижней части эксплуатационной колонны, находящейся в продуктивном пласте, простреливают (перфорируют) ряд отверстий в стенке обсадных труб и цементной оболочке (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 110–115).

В устойчивых породах призабойную зону скважины оборудуют различными фильтрами и не цементируют или обсадную колонну опускают только до кровли продуктивного пласта, а его разбуривание и эксплуатацию производят без крепления ствола скважины (Мухер, Шакиров, 1981: 120–123).

Устье скважины в зависимости от её назначения оборудуют арматурой: колонная головка, задвижки, крестовина и др. (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 130–133).

При поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений бурят опорные, параметрические, структурные, поисковые разведочные, эксплуатационные, нагнетательные, наблюдательные и другие скважины (Норман, 2008: 200–205).

Важнейшей характеристикой пористой среды, определяющей её вместимость, является пористость — доля объема пористой среды, приходящаяся на пустоты. При этом учитываются лишь те пустоты, по которым может двигаться жидкость (Чарный, 2006: 50–55).

Движение жидкости в пористой среде называется фильтрацией. Другой важнейшей характеристикой пористой среды, определяющей её способность пропускать через себя жидкость, является проницаемость. Чем выше проницаемость среды, тем быстрее будет движение жидкости, т.е. тем больше будет её скорость фильтрации (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 95–100).

Под скоростью фильтрации понимают количество жидкости, которое протекает через единичное сечение пористой среды в единицу времени. Скорость фильтрации зависит не только от строения пористой среды, но и от свойств жидкости, прежде всего её вязкости. Чем больше вязкость жидкости, тем меньше скорость её фильтрации (Грей, 2001: 75–80).

Нефтяные пласты залегают на большой глубине. В стране основные залежи нефти находятся на глубине 1–3 км. Поэтому пласт испытывает колоссальное давление массива вышележащих горных пород. Горное давление воспринимает на себя как скелет пласта, так и находящаяся в его порах жидкость. Давление в жидкости называют пластовым давлением (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 140–145).

Нефтяной пласт — это твердое тело, содержащее связанные между собой пустоты, называемые порами, и находящиеся в них нефть с пластовой водой. Твердая часть пласта называется его скелетом. Строение порового пространства естественных пород носит сложный, неупорядоченный характер, а размеры пор весьма малы, что хорошо видно на фотографиях различных образцов пород, сделанных с помощью электронного микроскопа при увеличении в 500 раз (Телков, Грачёв, Краснов, Сохошко, 2000: 55–60).

Результаты

Опорные скважины закладываются в районах, не исследованных бурением, и служат для изучения состава и возраста слагающих их пород.

Параметрические скважины закладываются в относительно изученных районах с целью уточнения их геологического строения и перспектив нефтегазоносности.

Структурные скважины бурятся для выявления перспективных площадей и их подготовки к поисково-разведочному бурению.

Поисковые скважины бурят с целью открытия новых промышленных залежей нефти и газа.

Разведочные скважины бурятся на площадях с установленной промышленной нефтегазоносностью для изучения размеров и строения залежи, получения необходимых исходных данных для подсчета запасов нефти и газа, а также проектирования ее разработки.

Эксплуатационные скважины закладываются в соответствии со схемой разработки залежи и служат для получения нефти и газа из земных недр.

Нагнетательные скважины используют при воздействии на эксплуатируемый пласт различных агентов (закачки воды, газа и т.д.).

Наблюдательные скважины бурят для контроля за разработкой залежей (изменением давления, положения водонефтяного и газонефтяного контактов и т.д.).

Кроме того при поиске, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений бурят картировочные, сейсморазведочные, специальные и другие скважины.

Суммарный дебит батарей не пропорционален числу скважин и расстоянию между ними. С увеличением числа скважин дебит каждой скважины будет уменьшаться, если давление в скважинах принимается неизменным. Это объясняется влиянием скважин друг на друга - «интерференцией» скважин. Если единственная скважина, то в этой эксплуатационной скважине в пласте поток жидкости или газа направляется только к ней. Ввод в эксплуатацию новых скважин создает новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине и тогда поток направляется не к одной скважине, а распределяется между всеми действующими скважинами.

Эффект взаимодействия (интерференции) скважин может просматриваться при различных режимах работы.

В зависимости от режима, который устанавливается в той или иной скважине будут наблюдаться различные эффекты взаимодействия.

Предположим, что первоначально в пласте действовала только одна эксплуатационная скважина, в которой поддерживалось постоянное давление на забой при неизменном давлении на контуре питания пласта.

В процессе последующей разработки пласта были пущены в эксплуатацию новые скважины так, что все действующие скважины вместе с той, что была единственной и образуют батарею скважин.

Вопреки распространенному мнению, нефть и газ не залегают в виде больших рек и озер под земной поверхностью (хотя мы и говорим о нефтяных пластах). На самом деле углеводороды - сырая нефть и природный газ, образованные из углерода и водорода, входящих в состав остатков древних растительных и животных форм, находятся в виде флюидов в пространстве пор осадочных пород.

Накопление и залегание нефти и других углеводородов тесно связано с донными отложениями. Слои ила и других морских и пресноводных осадков, содержащие изначально разлагающиеся и гниющие остатки растений и животных, называются материнскими пластами. Материнский пласт как правило включает два вида пород - темный морской сланец и морской известняк. Как результат постоянного сжатия материнского пласта, который содержит трансформируемые отложения, давление и температура повышались, достигая значений достаточно высоких для того, чтобы образовавшиеся нефть и газ выходили из материнской породы наружу и скапливались в прилегающих пористых и достаточно проницаемых для этого породах, например таких как песчаники, различные породы карбонатного состава (известняки) и доломиты. Такие породы называются породами-коллекторами и служат хранилищами мигрирующих углеводородов.

На рисунке 2 проиллюстрировано, как масса вышележащих слоев горной породы сдавливает подстилающий слой на дне моря, выталкивая углеводороды из материнского пласта вверх, в породу-коллектор)

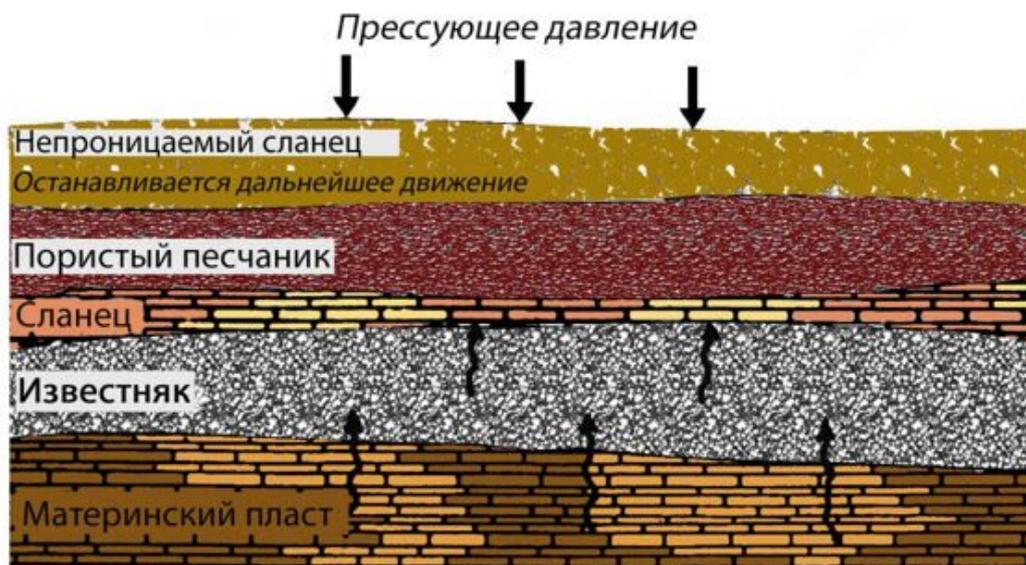


Рис. 2. Прессующее давление

Но как же может нефть или газ проходить через скальную породу? Разве порода не твердая? В действительности нет.

В горной породе находится множество крошечных пустот, которые называются порами.

На рисунке 3 показано, как газ, нефть и вода в коллекторе стремятся разделиться в соответствии с величиной их плотности.

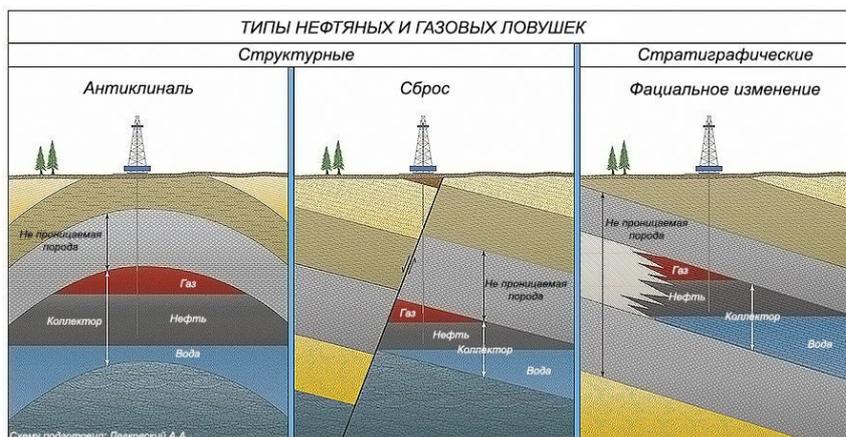


Рис. 3. Типы нефтяных и газовых ловушек

Приток жидкости или газа к скважинам установившийся тогда возможны три режима работы батареи скважин после того как будет достигнуто установившееся равновесие, например:

1. Все скважины работают при постоянном забойном давлении, наблюдавшемся в начальной стадии разработки пласта.

2. Все скважины работают в условиях постоянного дебита, который был у скважины, пущенной в эксплуатацию первой.

3. Скважины эксплуатируются в таких условиях, в которых не сохраняются первоначальные давление и дебит, как у первой скважины.

Первые два режима следует рассматривать как крайне возможные режимы эксплуатации групп скважин и здесь наиболее четко проявляет себя эффект взаимодействия скважин, а третий - один из наиболее распространенных в промышленной деятельности.

Если скважины работают в условиях первого режима, когда давление в них поддерживается постоянным, то влияние вновь пущенных в эксплуатацию скважин на работу первой должно проявиться в том, что за счет скважин снизится дебит в первой.

Таким образом, взаимодействие скважин при этом их режиме характеризуется изменением только дебита. Очевидно, взаимодействие скважин при режиме постоянного дебита будет характеризоваться изменением только забойных давлений.

Взаимодействие скважин в условиях третьего режима выражается в одновременном изменении давлений и дебитов. В условиях третьего режима, следовательно, количественная оценка эффекта взаимодействия усложняется, и во всех скважинах поддерживается то давление, которое было на забое первой скважины в период ее одиночной работы, при введении новых скважин изменяется только дебит этой скважины.

Пусть в пласте с круговым контуром питания действует эксплуатационная скважина, заложенная эксцентрично относительно контура питания. Далее были пущены в эксплуатацию еще две скважины так, что все три скважины в вершинах правильного треугольника с центром, совпадающим с центром пласта (вторая стадия разработки).

Пуском трех новых скважин положили начало третьей стадии разработки. И здесь уже действуют шесть эксплуатационных скважин, расположенных в вершинах правильного шестиугольника: три новые скважины пробуривались в середине интервала между двумя соседними скважинами из трех работающих на второй стадии разработки; середины интервалов брались на окружности с определенным радиусом.

С увеличением расстояния между скважинами коэффициент суммарного взаимодействия увеличивается, стремясь, стать равным числу скважин группы, а коэффициент взаимодействия (интерференции) уменьшается, стремясь к единице. Предельные значения коэффициента суммарного взаимодействия и коэффициента взаимодействия, равного единице показывают отсутствие взаимодействия скважин.

С увеличением числа скважин оба коэффициента увеличиваются и характеризуются усилением взаимного влияния скважин, что указывает на непропорциональность суммарного дебита числу скважин.

Взаимодействие скважин может практически не проявляться только при очень больших расстояниях между скважинами, таким образом, влияние каждой скважины на другие распространяются на весь пласт, когда жидкость несжимаема. И эти положения справедливы лишь для идеальных условий, характеризующих явление взаимодействия скважин.

Размещение скважин в виде кольцевой батареи имеет существенное значение при установлении оптимального числа скважин и это связано с экономической оценкой проектируемого числа скважин.

Обсуждение

Выясним, на какое приращение суммарного дебита кольцевой батареи скважин можно рассчитывать при увеличении их числа. Допустим, что первоначально в составе батареи были только четыре эксплуатационные скважины, находящиеся в вершинах квадрата: затем число скважин удвоили, введя между двумя соседними еще по одной. Было определено, что с увеличением числа скважин темп роста суммарного дебита батареи замедляется, и увеличение числа скважин оказывается неэффективным.

Если по условиям разработки, эксплуатационные скважины расставлены по прямой и число скважин в батарее конечно, и давление во всех скважинах одно и то же, а именно такое, каким оно должно быть в одиночной скважине в начальной стадии разработки, и батареи скважин далеки от контура питания пласта, тогда давление, приведенное к безразмерному виду зависит от двух безразмерных параметров.

В процессах разработки нефтяной залежи часто возникают такие условия, при которых проницаемость пласта в законтурной области оказывается худшей, чем внутри контура нефтеносности.

Интересно рассмотреть взаимодействие скважин кольцевой батареи в неоднородно проницаемом пласте во всем пласте сохраняется закон фильтрации Дарси.

Было определено, что если проницаемость той части пласта, в которой расположены скважины ниже проницаемости остальной части, то величина коэффициента суммарного взаимодействия всегда выше, чем батареи, действующей при тех же условиях в однородном пласте.

Если проницаемость части пласта со скважинами выше проницаемости остальной части пласта, то коэффициент суммарного взаимодействия будет ниже его значения в однородном пласте, при одних и тех же значениях, характеризующих неоднородность проницаемости пласта и радиуса границы раздела частей, взаимодействие скважин будет тем больше, чем большую площадь при данных условиях занимает менее проницаемая часть пласта.

Особое проявление неоднородности структурных пород, у которых проницаемость приобретает некоторую векториальность, позволяет рассматривать пласт, сложенный такими породами, как анизотропную среду.

Исследуя, взаимодействие двух скважин в однородном анизотропном пласте оказалось, что во многих случаях скважины взаимодействуют как в однородном изотропном пласте.

Эффект взаимодействия будет заметно усиленным или ослабленным лишь при резком различии проницаемостей в двух определенных направлениях: в направлении линии расстановки скважин и в направлении, перпендикулярном к этой линии.

Ослабление эффекта взаимодействия наблюдается тогда, когда в направлении линии расстановки скважин проницаемость низка по сравнению с проницаемостью в перпендикулярном направлении. Наоборот, усиление эффекта взаимодействия означает,

что в направлении вдоль линии скважин пласт более проницаем для жидкости, чем в направлении, перпендикулярном к нему.

Во избежание усиленного эффекта взаимного влияния скважин при возможности выбора направления, в котором следует закладывать новые скважины и здесь следует предпочесть направления, в котором пласт наименее проницаем (если изучение коллекторских свойств пласта позволяет установить это направление).

Если имеется кольцевая батарея, состоящая из двух и более эксплуатационных скважин, размещенных равномерно по окружности и контур питания удален от всех скважин, то чем больше величина радиуса первоначального контура нефтеносности, тем больше отставание точек контура нефтеносности, движущихся по нейтральной линии тока, от точек контура, движущихся по главной линии тока. Чем больше скважин в батарее, тем меньше отставания частиц контура нефтеносности от тех, которые движутся по главной линии тока, т.е. тем равномернее стягивание контура.

Форма контура нефтеносности, которая первоначально была в виде окружности, искажается лишь в ближайшей окрестности скважин. При анализе явления стягивания контура к скважинам кольцевой батареи допустимо применить «галерезацию» т.е. кольцевую батарею заменить равнодебитной кольцевой галереей.

Если контур питания пласта имеет форму эллипса, иногда допустимо систему скважин моделировать софокусным эллипсом-стоком. Такие случаи встречаются при разработке продуктивной, например, к брахиантиклинальной складке.

Было рассмотрено движение несжимаемой жидкости к несовершенным скважинам кольцевой батареи в пласте, в котором нефть подстилается активной подошвенной водой и определено время безводной эксплуатации скважин. Добыча безводной нефти затрудняется из-за малых дебитов скважин. При измеренных дебитах скважины быстро обводняются. Образуется совместный поток нефти и воды, и при их перемешивании в скважине добывается эмульсия, осложняющая процессы технологии добычи и переработки нефти.

Для получения безводной нефти на обводняющихся скважинах рекомендуется извлекать отдельно нефть и воду. Для этого необходимо путем регулирования совмещать уровень раздела воды и нефти в скважине с тем же уровнем в пласте и располагать фильтры по разные стороны раздела.

Значительный интерес мы видим в задаче увлечения притока жидкости к скважине при наличии вокруг забоя скважины кольцевой состоит из двух зон различной проницаемости.

Это возникает при форлидировании или кислотной обработки призабойной зоны, установке гравийного фильтра глинизации или парафинизации призабойной зоны, выносе мелких фракций породы из зоны и так далее.

Очень важной при этом является необходимость установления влияния различия проницаемостей кольцевой призабойной зоны и остальной части пласта на продуктивность скважины.

Определены, что повышение пластового давления эффективные снижения давления на забой скважины. Это говорит о том, что при одинаковых экономических показателях затрат на применение того или иного метода интенсификация добычи нефти более предпочтителен метод с связанный с повышением забойного давления. Поэтому своевременно принятые меры по поддержанию неистового давления в первых же стадиях разработки месторождения исключительно важны.

Заключение

В ходе проведенного исследования были последовательно рассмотрены ключевые аспекты разработки и эксплуатации скважин, а также явление взаимодействия скважин в пределах одного продуктивного пласта. Цель работы — анализ закономерностей притока жидкости и газа к скважинам, оценка эффектов интерференции и влияние различных

режимов работы батарей скважин — была достигнута через комплекс методов анализа литературы, сравнительных расчетов и моделирования гидродинамических процессов в пористой среде.

Реализация поставленных задач позволила уточнить основные закономерности работы скважин при различных условиях эксплуатации. Были изучены три режима работы батарей скважин: с постоянным забойным давлением, с постоянным дебитом и с изменяющимся давлением и дебитом. Анализ показал, что при первых двух режимах проявление эффекта взаимодействия скважин наиболее очевидно: в первом случае изменяется дебит, а во втором — забойное давление. Третий режим, наиболее типичный для практики разработки месторождений, характеризуется одновременным изменением давления и дебита, что усложняет количественную оценку эффектов интерференции.

Особое внимание уделено размещению скважин в виде кольцевой батареи, которое позволяет оптимизировать суммарный дебит и минимизировать взаимное влияние скважин, а также обосновать экономически целесообразное число скважин на месторождении. Установлено, что коэффициент суммарного взаимодействия и коэффициент интерференции скважин зависят от их взаимного расположения и числа скважин в группе: с увеличением расстояния влияние уменьшается, а при росте числа скважин — усиливается, что отражает непропорциональность суммарного дебита числу скважин.

Результаты исследования подтверждают важность комплексного подхода к планированию бурения и эксплуатации скважин, учитывающего гидродинамическую связь между скважинами и физико-химические свойства пластовой жидкости. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации проектирования скважин, повышения эффективности разработки нефтегазовых месторождений, а также для прогнозирования изменения дебитов и давления при введении новых скважин.

Перспективы дальнейшей работы заключаются в развитии математических моделей фильтрации и интерференции скважин с учетом несжимаемости жидкости и газосодержащих пластов, а также в применении компьютерного моделирования для оценки влияния различных схем расположения скважин на эффективность разработки. Практическое применение результатов исследования включает планирование оптимального числа скважин, выбор режима эксплуатации, прогнозирование эффективности водонапорных или газонапорных мероприятий и минимизацию технологических потерь при разработке месторождений.

Таким образом, проведённая работа позволяет сделать вывод о необходимости системного учета взаимодействия скважин при проектировании и эксплуатации нефтегазовых объектов, а также о возможности использования полученных результатов для повышения научного понимания фильтрационных процессов в пористых средах и разработки рекомендаций по оптимизации технологических процессов в нефтегазовой отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

- Булатов, 2003 – Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов. — Москва: Недра-Бизнесцентр. — 2003. — 1007 с. [Russ.]
- Грей, 2001 – Грей Ф. Добыча нефти / Translated from English. — Москва: Олимп-Бизнес. — 2001. — 416 с. [Russ.]
- Дияшев, 2012 – Дияшев Р.Н., Хисамов Р.С., Конохов В.М., Чекалин А.Н. Форсированный отбор жидкости из коллекторов с двойной пористостью, насыщенных неньютоновскими нефтями. — Казань: ФЭН. — 2012. — 247 с. [Russ.]
- Итенберг, 1982 – Итенберг С.С., Дахкилгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах: учебник для вузов. — Москва: Недра. — 1982. — 351 с. [Russ.]
- Крошмак, 2016 – Крошмак А.А., Шамазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. — Уфа: Design Polygraph Service. — 2016. — 500 с. [Russ.]
- Муравьёв, 2018 – Муравьёв И.М., Андриясиков Р.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. — Москва: Недра. — 2018. — 445 с. [Russ.]

- Мукер, 1981 – Мукер А.А., Шакиров А.Ф. Геофизические и прямые методы исследования скважин. — Москва: Недра. — 1981. — 295 с. [Russ.]
- Норман, 2008 – Норман J.H. Геология, разведка, бурение и добыча нефти. — Москва: Олимп-Бизнес. — 2008. — 752 с. [Russ.]
- Тельков, 2000 – Тельков А.П., Грачев С.И., Краснов Т.Л., Сохошко С.К. Особенности разработки нефтегазовых месторождений: обоснование физико-математических моделей и методов решения основных задач проектирования и разработки газовых и нефтегазоконденсатных залежей. — Тюмень: НИПИКБС-Т. — 2000. — 128 с. [Russ.]
- Шурубор, 1998 – Шурубор Ю.В. Новый взгляд на проблемы выделения многопластовых эксплуатационных объектов и управление их разработкой. — NTIS. Ser. «Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений». — 1998. — Issue 12. — Pp.25–28. [Russ.]
- Чарный, 2006 – Чарный И.А. Подземная гидромеханика: безнапорное движение жидкости в пористой среде. — Москва: АНО «Institute of Computer Research». — 2006. — 157 с. [Russ.]
- Konyukhov, 2017 – Konyukhov I.V., Krasnov S.V., Chekalin A.N. Computer Simulation and Comparison of the Efficiency of Conventional, Polymer and Hydrogel Waterflooding of Inhomogeneous Oil Reservoirs. — Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2017. — 19(4). — Pp.323–334. [Eng.]
- Munn, 1909 – Munn M.J. The Anticlinal and Hydraulic theories of the oil and gas accumulation. — Economic Geology. — 1909. — №6. — Pp.543–570. [Eng.]

REFERENCES

- Bulatov, 2003 – Bulatov, A.I., Proselkov, Yu.M., Shamanov, S.A. Tekhnika i tekhnologiya bureniya neftyanikh i gazovikh skvazhin: uchebnyk dlya vuzov. — Moskva: Nedra-Biznescentr. — 2003. — 1007 p. [in Russ.]
- Grey, 2001 – Grey, F. Dobycha nefiti / Translated from English. — Moskva: Olimp-Biznes. — 2001. — 416 p. [in Russ.]
- Diyashev, 2012 – Diyashev, R.N., Khisamov, R.S., Konyukhov, V.M., Chekalin, A.N. Forsirovannyi otbor zhidkosti iz kollektorov s dvoynoi poristost'yu, nasyshchennykh nen'utonovskimi neftyami. — Kazan': FEN. — 2012. — 247 p. [in Russ.]
- Itenberg, 1982 – Itenberg, S.S., Dakhkilgov, T.D. Geofizicheskie issledovaniya v skvazhinakh: uchebnyk dlya vuzov. — Moskva: Nedra. — 1982. — 351 p. [in Russ.]
- Kroshmak, 2016 – Kroshmak, A.A., Shamazov, A.M. Osnovy neftegazovogo dela: uchebnyk dlya vuzov. — Ufa: Design Polygraph Service. — 2016. — 500 p. [in Russ.]
- Muravyov, 2018 – Muravyov, I.M., Andriyasyov, R.S. Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanikh mestorozhdenii. — Moskva: Nedra. — 2018. — 445 p. [in Russ.]
- Muker, 1981 – Muker, A.A., Shakirov, A.F. Geofizicheskie i pryamyte metody issledovaniya skvazhin. — Moskva: Nedra. — 1981. — 295 p. [in Russ.]
- Norman, 2008 – Norman, J.H. Geologiya, razvedka, burenie i dobycha nefiti. — Moskva: Olimp-Biznes. — 2008. — 752 p. [in Russ.]
- Telkov, 2000 – Telkov, A.P., Grachev, S.I., Krasnov, T.L., Sokhoshko, S.K. Osobennosti razrabotki neftegazovykh mestorozhdenii: obosnovanie fiziko-matematicheskikh modelei i metodov resheniya osnovnykh zadach proektirovaniya i razrabotki gazovykh i neftegazokondensatnykh zalezh. — Tyumen': NIPIKBS-T. — 2000. — 128 p. [in Russ.]
- Shurubor, 1998 – Shurubor, Yu.V. Novyi vzglyad na problemy vydeleniya mnogoplastovykh ekspluatatsionnykh ob'ektov i upravlenie ikh razrabotkoi. — NTIS. Ser. «Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanikh mestorozhdenii». — 1998. — Issue 12. — Pp.25–28. [in Russ.]
- Charnyi, 2006 – Charnyi, I.A. Podzemnaya gidromekhanika: beznapornoe dvizhenie zhidkosti v poristoi srede. — Moskva: АНО «Institute of Computer Research». — 2006. — 157 p. [in Russ.]
- Konyukhov, 2017 – Konyukhov, I.V., Krasnov, S.V., Chekalin, A.N. Computer Simulation and Comparison of the Efficiency of Conventional, Polymer and Hydrogel Waterflooding of Inhomogeneous Oil Reservoirs. — Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2017. — 19(4). — Pp.323–334. [in Eng.]
- Munn, 1909 – Munn, M.J. The Anticlinal and Hydraulic Theories of the Oil and Gas Accumulation. — Economic Geology. — 1909. — №6. — Pp.543–570. [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 32–43
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.003>
УДК 681.5

AUTOMATED SYSTEMS FOR MECHANICAL ENGINEERING AND DESIGN OF NODAL DEVICES

Y. Mailybayev^{1}, Zh. Zhanatkyzy¹, G. Morokina²*

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

²Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Peterburg, Russia.

E-mail: maylybaev.ersayyn@mtgu.edu.kz

Yersaiyn Mailybayev — PhD, International University of Transportation and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: maylybaev.ersayyn@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>;

Zhania Zhanatkyzy — master student, International University of Transportation and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: zhanatkyzy.zhania@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-0393-1148>;

Galina Morokina — c.t.s., Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Peterburg, Russia

E-mail: galinasm404@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2504-6449>.

© Y. Mailybayev, Zh. Zhanatkyzy, G. Morokina

Abstract. This study examines modern methods of part design and the integration of computer-aided design (CAD) tools to improve modeling accuracy and optimize engineering solutions. The relevance of the topic is determined by the need to enhance the efficiency of engineering design and student education using modern software tools. The objects of research include processes of mechanical load modeling, part design, and the creation of integrated measurement systems using MARC, PATRAN, Pro/ENGINEER, and Trace Mode 6. The aim of the research is to investigate the capabilities of integrated CAD systems for automating design and improving the quality of the educational process. The tasks set to achieve this aim include: analyzing existing software tools; modeling mechanical deformations and loads; creating local and global part models; exploring possibilities of automating signal processing and measurement system design; assessing the practical significance of implementing integrated CAD in industrial and educational processes. The results show that using integrated software tools increases calculation accuracy, reduces design time, and minimizes errors. The application of the finite element method in MARC and PATRAN enables detailed modeling of mechanical loads, while Trace Mode 6 automates signal and device management. The creation of virtual models and integration of different design levels ensure efficiency and comprehensiveness of engineering solutions. The conclusion confirms that the integration of modern CAD systems opens new opportunities for scientific research and education, enhances the quality of part and measurement system design, and creates conditions for further implementation of innovative approaches in industry. The practical significance lies in the possibility of using integrated CAD for optimizing technological processes and training students in modern engineering methods.

Keywords: computer-aided design, CAD, modeling, finite element method, Trace Mode 6, integrated systems, part design

For citation: Y. Mailybayev, Zh. Zhanatkyzy, G. Morokina. Automated systems for mechanical engineering and design of nodal devices//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 32–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.003>.

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

МАШИНА ЖАСАУ ЖӘНЕ ТОРАПТЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫ ЖОБАЛАУҒА АРНАЛҒАН АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕЛЕР

Е. Майлыбаев^{1}, Ж. Жанатқызы¹, Г. Морокина²*

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы.

E-mail: maylybaev.ersayun@mtgu.edu.kz

Ерсайын Майлыбаев — PhD, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: maylybaev.ersayun@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>;

Жәния Жанатқызы — магистрант, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: zhanatkyzy.zhania@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-0393-1148>;

Галина Морокина — т.ғ.к., доцент, Санкт-Петербург мемлекеттік университеті, Санкт-Петербург, Ресей Федерациясы

E-mail: galinasm404@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2504-6449>.

© Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина

Аннотация. Бұл жұмыста бөлшектерді жобалаудың заманауи әдістері мен инженерлік шешімдерді оңтайландыру және модельдеудің дәлдігін арттыру үшін автоматтандырылған жобалау жүйелерін (САПР) интеграциялау қарастырылады. Зерттеу тақырыбының өзектілігі қазіргі бағдарламалық кешендерді пайдаланып, инженерлік жобалау тиімділігін және студенттердің білім алу сапасын арттыру қажеттілігінен туындайды. Зерттеу объектілері ретінде механикалық жүктемелерді модельдеу, бөлшектерді жобалау және MARC, PATRAN, Pro/ENGINEER және Trace Mode 6 бағдарламалары арқылы интеграцияланған өлшеу жүйелерін құру процестері алынған. Зерттеудің мақсаты – интеграцияланған САПР мүмкіндіктерін зерттеп, жобалауды автоматтандыру және білім беру процесінің сапасын арттыру. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: бар бағдарламалық құралдарды талдау; механикалық деформациялар мен жүктемелерді модельдеу; бөлшектердің локалды және глобалды модельдерін құру; сигналдарды өңдеуді және өлшеу жүйелерін жобалауды автоматтандыру мүмкіндіктерін зерттеу; интеграцияланған САПР-ды өндірістік және білім беру процестеріне енгізудің практикалық маңыздылығын бағалау. Зерттеу нәтижелері интеграцияланған бағдарламалық кешендерді қолдану есептеулердің дәлдігін арттыратынын, жобалау уақытын қысқартатынын және қателіктер санын азайтатынын көрсетті. MARC және PATRAN бағдарламаларында элементтер әдісін қолдану механикалық жүктемелерді егжей-тегжейлі модельдеуге мүмкіндік береді, ал Trace Mode 6 сигналдар мен құрылғыларды автоматтандыруға жағдай жасайды. Виртуалды модельдер құру және әртүрлі жобалау деңгейлерін интеграциялау инженерлік шешімдердің тиімділігін қамтамасыз етеді. Зерттеу қорытындысы қазіргі САПР жүйелерін интеграциялау ғылыми-зерттеу және білім беру іс-шаралары үшін жаңа мүмкіндіктер ашады, бөлшектер мен өлшеу жүйелерін жобалау сапасын арттырады, сонымен қатар өндірісте инновациялық тәсілдерді енгізу үшін жағдай жасайды. Практикалық маңыздылығы интеграцияланған САПР-ды технологиялық

процестерді оңтайландыру және студенттерді заманауи инженерлік әдістерге оқыту үшін қолдануға болады.

Түйін сөздер: автоматтандырылған жобалау, САПР, модельдеу, элементтер әдісі, Trace Mode 6, интеграцияланған жүйелер, бөлшектерді жобалау

Дәйексөздер үшін: Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина. Машина жасау және тораптық құрылғыларды жобалауға арналған автоматтандырылған жүйелер//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 32–43 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.003>.

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

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЗЛОВЫХ УСТРОЙСТВ

Е. Майлыбаев^{1}, Ж. Жанатқызы¹, Г. Морокина²*

¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: ersind@mail.ru

Ерсайын Майлыбаев — PhD, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: maylybaev.ersayun@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1977-3690>ж

Жәния Жанатқызы — магистрант, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: zhanatkyzy.zhania@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0001-0393-1148>ж

Галина Морокина — к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: galinasm404@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2504-6449>ю

© Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина

Аннотация. В данной работе рассматриваются современные методы проектирования деталей и интеграции программных средств автоматизированного проектирования (САПР) для повышения точности моделирования и оптимизации инженерных решений. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения эффективности проектирования и обучения студентов инженерным навыкам с использованием современных программных комплексов. В качестве объектов исследования выбраны процессы моделирования механических нагрузок, проектирования деталей и создания интегрированных измерительных систем с использованием программ MARC, PATRAN, Pro/ENGINEER и Trace Mode 6. Цель исследования заключалась в изучении возможностей интегрированных САПР для автоматизации проектирования и повышения качества образовательного процесса. Для достижения цели поставлены следующие задачи: анализ существующих программных средств; моделирование механических деформаций и нагрузок; создание локальных и глобальных моделей деталей; исследование возможностей автоматизации обработки сигналов и проектирования измерительных систем; оценка практической значимости внедрения интегрированных САПР в производственные и образовательные процессы. Результаты исследования показали, что использование интегрированных программных комплексов позволяет повысить точность расчетов, сократить время проектирования и снизить количество ошибок. Применение метода конечных элементов в MARC и PATRAN обеспечивает детализированное моделирование механических нагрузок, а Trace Mode 6 позволяет

автоматизировать управление сигналами и устройствами. Создание виртуальных моделей и интеграция различных уровней проектирования обеспечивают эффективность и комплексность инженерных решений. Заключение исследования подтверждает, что интеграция современных САПР открывает новые возможности для научной и образовательной деятельности, повышает качество проектирования деталей и измерительных систем, а также создает условия для дальнейшего внедрения инновационных подходов в промышленность. Практическая значимость работы заключается в возможности использования интегрированных САПР для оптимизации технологических процессов и обучения студентов современным инженерным методам.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, САПР, моделирование, метод конечных элементов, Trace Mode 6, интегрированные системы, проектирование деталей

Для цитирования: Е. Майлыбаев, Ж. Жанатқызы, Г. Морокина. Автоматизированные системы для машиностроения и проектирования узловых устройств//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 32–43. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.003>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Развитие современных проектных и измерительных систем в инженерно-технической сфере требует постоянного совершенствования методов моделирования, автоматизации и цифровизации процессов. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых разработке интегрированных информационных систем и виртуальных измерительных модулей, в научной литературе существуют пробелы, связанные с применением обновлённых технологических подходов и новых программных сред в инженерном образовании и производстве (Морокина, 2016: 25–30). Проблемная ситуация обусловлена тем, что многие существующие методики не учитывают возможностей современных интегрированных платформ, особенно при проектировании виртуальных измерительных систем и моделировании деталей в среде САПР и CAE-инструментах (Морокина, 2010б: 39–40).

Актуальность исследования подтверждается возрастающим интересом к цифровым технологиям в инженерной подготовке и необходимости совершенствования проектных систем, что отмечается в работах, посвящённых созданию виртуальных и интегрированных измерительных комплексов (Морокина, 2010а: 85–91; Морокина, 2010б: 39–40). В то же время в ряде исследований подчеркивается ограниченность классических методик обучения и проектирования, которые не полностью используют потенциал современных информационных систем.

Объект исследования - измерительные и проектные системы в инженерно-технических задачах.

Предмет исследования - методы разработки виртуальных и интегрированных измерительных систем на основе современных программных платформ.

Цель исследования заключается в обосновании и разработке подходов к созданию эффективных интегрированных измерительных систем и анализе их применения в инженерной подготовке. Подобные цели ставились и в зарубежных исследованиях, где изучались автоматизированные системы проектирования в машиностроении (Машекова, 2017: 119–122) и влияние виртуальных CAD/CAE-инструментов на качество инженерных решений (Морокина, 2020: 1515).

Для достижения цели определены следующие задачи:

- изучить состояние методик,
- выявить недостатки традиционных систем проектирования,
- определить возможности интегрированных программных сред,

- разработать технологическую схему построения виртуальной измерительной системы и оценить её эффективность.

Методы исследования включают сравнительный анализ научных источников (Морокина, 2016: 45–52), виртуальное моделирование, аналитические методы, системный и технологический подходы.

Гипотеза исследования состоит в том, что использование интегрированных программных платформ в проектировании позволяет существенно повысить точность, производительность и наглядность инженерных расчётов (Морокина, 2020: 1515).

Значимость исследования заключается в расширении научных представлений об интегрированных измерительных системах и в их практической применимости в инженерном образовании и машиностроении.

Материалы и методы.

В исследовании использован комплекс программных средств автоматизированного проектирования, предназначенных для создания, анализа и оптимизации конструкций машин и измерительных систем. Методологическая база исследования основана на принципах численного моделирования, параметрического проектирования и интеграции разноуровневых программных решений. Выбор данных инструментов обусловлен тем, что современные инженерные задачи требуют высокой точности расчётов, возможности реконфигурации моделей и применения технологий виртуальных испытаний, что подтверждается исследованиями в области создания новых измерительных систем и средств машиностроительного анализа (Ажарова, 2016: 96–100; Морокина, 2010в: 131-138).

1 Программные средства моделирования

1.1 MSC Marc/Mentat

Для анализа механической деформации использована нелинейная расчётная система MSC Marc. Она позволяет моделировать поведение конструкций при сложных нагрузках, учитывать контактные взаимодействия и нелинейные свойства материалов. Разработка геометрической модели и назначение параметров выполнялись в интерфейсе Mentat (Рис. 1).



Рис. 1. Проектирование детали в 2D Marc_Mentat

Моделирование деформации плоского стержня с закреплением одной точки включало:

- построение 2D-геометрии;
- наложение механической нагрузки;
- определение граничных условий;
- назначение свойств материала и типа конечного элемента.

Особенность Marc состоит в использовании узлового формата тепловых и силовых данных, а также в возможности игнорировать некорректные контактные проникновения, что повышает устойчивость расчётов (Морокина, 2016: 58–60).

1.2 Pro/ENGINEER (Creo)

Для создания параметрической 3D-модели применялось программное обеспечение Pro/ENGINEER (сейчас Creo), относящееся к системам «среднего ядра» проектирования (Рис. 2). Его использование обусловлено высокой совместимостью с программами верхнего уровня, такими как NASTRAN и PATRAN, что облегчает интеграцию в единую цепочку САПР-расчётов (Морокина, 2010а: 85–91).

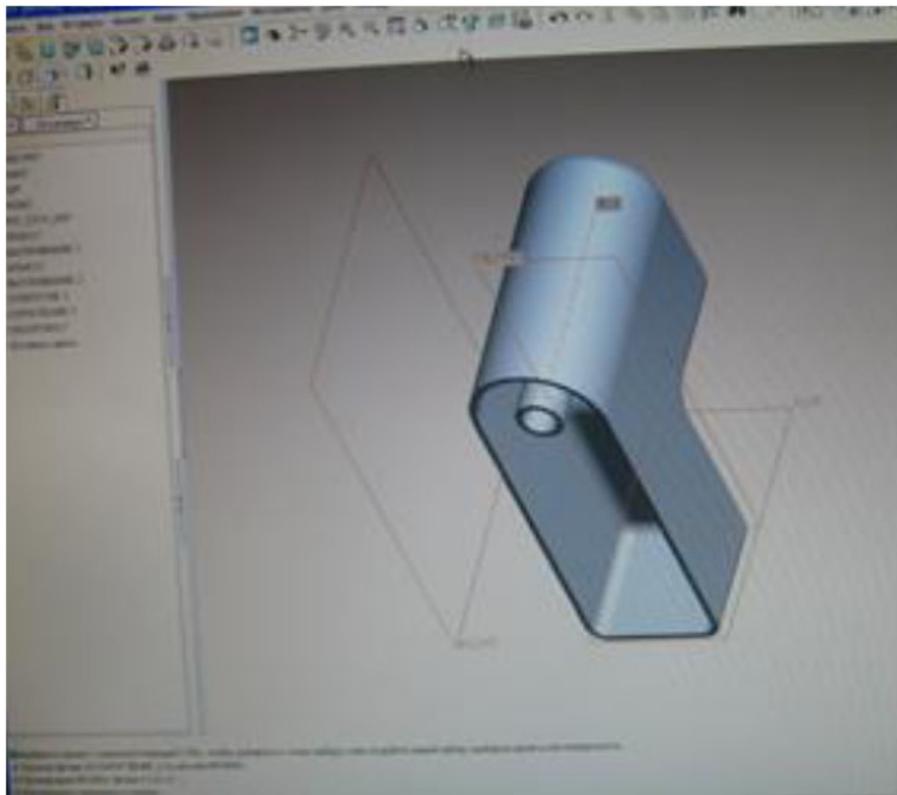


Рис. 2. Проектирование с помощью профилировщиков в Pro-Engineering наложенной нагрузке (программа MARC).

Создание модели включало:

- построение профилей и эскизов;
- применение операций выдавливания, вращения, выборки;
- задания допусков и размеров;
- подготовку модели к экспортированию в САЕ-системы.

1.3 PATRAN

Программа MSC PATRAN использовалась для подготовки конечно-элементной модели, включая генерацию сетки, назначение нагрузок и проведение предварительного анализа (Рис.3). Созданный в Pro/ENGINEER геометрический файл импортировался в PATRAN и разделялся на доменные элементы.

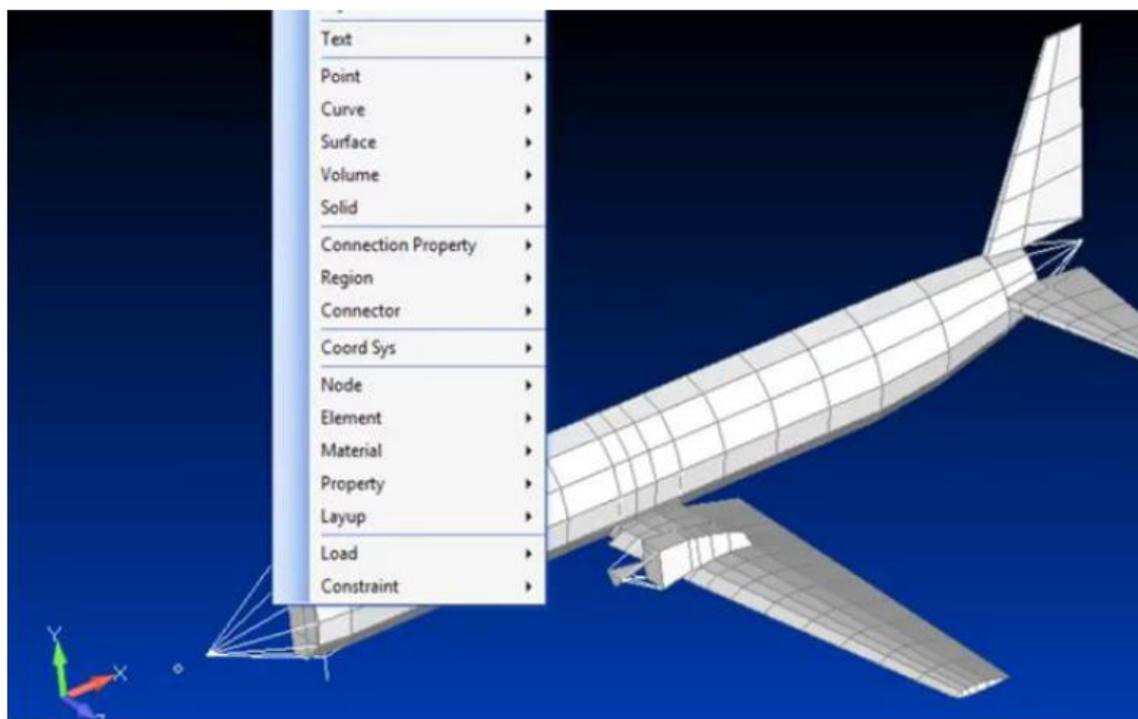


Рис. 3. Блок в узловом формате – проектирование в PATRAN

Используемая методика позволяла:

- автоматически дублировать узлы на междоменных границах,
- распределять вычисления по параллельным процессам,
- обмениваться матричными данными между процессами.

Подобный подход повышает производительность анализа, о чём сообщается в инженерной литературе по виртуальному моделированию (Касымбекова, 2019: 99–102).

1.4 Trace Mode 6

Для проектирования элементов измерительных систем применялось интегрированное программное обеспечение Trace Mode 6, позволяющее моделировать алгоритмы управления, разрабатывать мнемосхемы и проводить виртуальные испытания (Рис. 4).

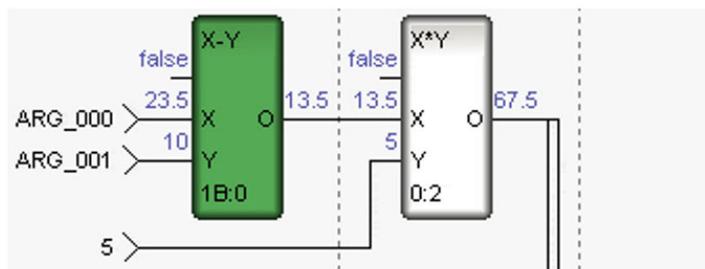


Рис. 4. Особенности математического проектирования с помощью FBD - диаграмм

Выбор данной среды обусловлен её способностью объединять в единую платформу:

- мнемосхемы,
- FBD-диаграммы,
- структурированный текст,
- сетевые конфигурации оборудования.

Trace Mode используется в обучении и промышленности благодаря наличию автоматизированного проектирования и поддержке пяти языков программирования (LD,

FBD, ST, IL, SFC), что делает проектирование доступным инженерам без углубленной подготовки по программированию (Сидоренко, 2019: 78–90).

2 Методика моделирования

Метод исследования включал следующие этапы:

2.1 Создание геометрических моделей

Геометрия деталей проектировалась в Pro/ENGINEER с последующим экспортом в PATRAN и Marc. Определялись:

- контуры,
- размеры,
- параметры поверхности,
- связи между геометрическими элементами.

2.2 Применение нагрузок и граничных условий

В Marc назначались:

- статические нагрузки,
- распределённые давления (в том числе для сверхпластического формования), условия закрепления.

Это соответствует рекомендациям по моделированию деформации сложнонагруженных элементов (Морокина, 2010а: 85–91).

2.3 Генерация и оптимизация конечных элементов

Модель делилась на элементы различных типов:

- плоские элементы для 2D-анализа,
- твердотельные объёмные элементы.

Параллельная схема расчёта обеспечивала ускорение вычислений за счёт распределения доменов между процессами.

2.4 Проектирование алгоритмов и структур управления

В Trace Mode 6 разрабатывались:

- сигнальные цепочки,
- математические блоки FBD,
- параметры датчиков и детекторов.

Это позволило интегрировать результаты CAE-анализа в будущую систему автоматизированного управления.

Результаты и обсуждение.

Полученные результаты моделирования показали, что применение интегрированных программных комплексов MSC Marc/Mentat, Pro/ENGINEER и PATRAN обеспечивает высокую точность расчётов, устойчивость решения и возможность комплексного проектирования деталей в условиях сложных эксплуатационных нагрузок.

В ходе численного эксперимента была создана параметрическая модель плоского стержня фиксированной конфигурации. После задания граничных условий и приложенной нагрузки система Marc корректно определила распределение напряжений и деформаций, обеспечив стабильное схождение вычислительного процесса. Разбиение общей модели на элементы показало, что каждый конечный элемент корректно взаимодействует с соседними областями, а междоменные узлы синхронно обменивались данными при расчётах (Морокина, 2010а: 85–91).

1. Параллельные вычисления и эффективность расчётов

При анализе поведения модели применялись параллельные матричные решатели Marc, что позволило сократить общее время вычислений. Параллельный алгоритм обеспечивал передачу данных между областями на разных узлах вычислительного кластера, что повышало эффективность вычислений при больших матрицах жёсткости. Такой подход характерен для современных нелинейных расчётов, где необходимо учитывать контактные взаимодействия, пластичность и большие деформации (Сидоренко, 2019: 55–70).

Кроме того, результаты показали, что даже при локальных контактах проникновение узлов в неактивное тело корректно устраняется при активации контактного слоя. Это является важным условием точности моделирования тонкостенных конструкций.

2. Сравнение результатов проектирования в Pro/ENGINEER и PATRAN

Проектирование фрагмента детали в Pro/ENGINEER показало, что система позволяет эффективно использовать параметрические зависимости и профилировщики для создания сложной 3D-геометрии (Рис. 5). Дальнейшая передача этой модели в среды верхнего уровня, такие как PATRAN и NASTRAN, обеспечивает удобную интеграцию CAD–CAE процессов.



Рис. 5. Проекция нагрузки самолета в MSC

На этапе построения узловых форматов в PATRAN были получены корректные тепловые и нагрузочные поля (Рис. 3). Исследование показало, что при работе с большими моделями PATRAN обеспечивает оптимальные условия для визуализации, управления сеткой и назначения физических свойств элементов.

3. Применение Trace Mode 6 в обсуждении эффективности моделирования

Особое внимание в исследовании уделено интегрированной системе Trace Mode 6, рассматриваемой как инструмент проектирования измерительных и управляющих систем. Использование FBD-блоков (рисунок 5) позволяет описывать математическую модель сигнала, задавать фильтры, алгоритмы управления и последовательности обработки данных.

Основной вывод состоит в том, что интеграция CAE-систем (Marc, Pro/ENGINEER, PATRAN) с Trace Mode 6 создаёт единый цифровой контур:

- проектирование геометрии;
- проведение расчётов;
- формирование измерительной модели;
- подготовка управляющих алгоритмов.

Такой подход может быть использован в обучении студентов машиностроительных специальностей (Морокина, 2016: 48–60) и в разработке промышленных цифровых двойников.

4. Обсуждение согласованности результатов

Полученные результаты подтверждают эффективность использования комплекса программ для построения интегрированной модели детали и анализа её поведения при нагрузках. Выявлено:

- параллельные решатели существенно ускоряют вычисления;
- узловой формат PATRAN обеспечивает корректное представление тепловых и механических параметров;
- Pro/ENGINEER облегчает параметрическое изменение формы детали;
- Trace Mode 6 позволяет автоматизировать обработку данных и интегрировать модель в общий технологический процесс.

Таким образом, совокупный анализ показывает, что применение интегрированных инструментов проектирования расширяет возможности моделирования, повышает точность результатов и снижает вероятность ошибок при разработке сложных технических систем.

Заключение.

В данной работе были успешно реализованы цели исследования, заключавшиеся в изучении особенностей проектирования деталей и интеграции современных программных средств для автоматизации процессов проектирования и моделирования измерительных систем. В качестве методов исследования применялись моделирование с использованием метода конечных элементов, построение локальных и глобальных аналитических моделей, использование интегрированных сред программирования и автоматизированного проектирования, таких как MARC, PATRAN, Pro/ENGINEER и Trace Mode 6. Это позволило провести комплексный анализ механических нагрузок, оптимизацию проектных решений и демонстрацию возможностей современных САПР в образовательной и производственной практике.

Результаты исследования показывают, что использование интегрированных программных комплексов позволяет существенно повысить точность моделирования, сократить трудозатраты на проектирование, снизить количество ошибок и дублирующейся информации, а также обеспечить эффективное управление проектами на всех уровнях: от локальной детализации до глобальных виртуальных систем. В частности, моделирование нагрузок с применением MSC Software продемонстрировало возможность точного расчета энергии и деформаций деталей, а использование Trace Mode 6 подтвердило эффективность автоматизированного управления сигналами и устройствами в образовательной и производственной среде.

Основные выводы исследования заключаются в следующем: интеграция программных комплексов позволяет создать единый инструмент проектирования, который соединяет различные уровни моделирования и автоматизации; применение FBD-блоков и других языков программирования стандарта IEC 61131-3 обеспечивает практическую доступность систем для студентов и инженеров, не являющихся профессиональными программистами; виртуальное проектирование и моделирование уменьшает затраты на проведение экспериментов и повышает качество обучения.

Практическая значимость работы заключается в возможности внедрения результатов исследования в промышленное и образовательное проектирование. Применение интегрированных САПР позволяет ускорить процесс создания и тестирования новых изделий, повысить надежность и долговечность деталей, а также интегрировать экономические и эксплуатационные показатели в процесс проектирования. В образовательной сфере это открывает новые возможности для дистанционного обучения и проведения виртуальных лабораторных занятий, что особенно актуально в современных условиях развития цифровой экономики.

Перспективы дальнейших исследований включают: разработку более сложных моделей многокомпонентных систем, интеграцию с инструментами анализа больших

данных и искусственного интеллекта для прогнозирования эксплуатационных характеристик, а также расширение применения интегрированных САПР в аэрокосмической, автомобилестроительной и машиностроительной отраслях. Кроме того, актуальной задачей является разработка новых методик преподавания инженерного проектирования с использованием удаленного управления и виртуальных лабораторий, что позволит повысить качество подготовки специалистов и ускорить внедрение инновационных решений в производственные процессы.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает, что использование современных интегрированных программных комплексов и методов автоматизированного проектирования позволяет существенно улучшить точность, скорость и эффективность разработки деталей и измерительных систем, а также открывает новые возможности для научных исследований и практического применения в инженерных и образовательных сферах. Реализация таких подходов способствует расширению научного знания в области проектирования, моделирования и управления технологическими процессами, а также обеспечивает перспективы дальнейшего развития инновационных систем автоматизированного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

Ажарова, 2016 — Ажарова Л.С., Андреев М.В. Методы разработки измерительных систем нового поколения. — Москва: Наука. — 2016. — 248 с. [Russ.]

Касымбекова, 2019 — Касымбекова Ж.Т., Усенов А.Б., Ахметова Р.С. Надежность линий волоконно-оптической связи в условиях промышленного воздействия. — Алматы: ҚазҰУ баспасы. — 2019. — 212 с. [Kaz.]

Клементьев, 2018 — Клементьев В.П., Новиков А.В. Методы оценки надежности линейно-кабельных сооружений связи. — Москва: Энергия. — 2018. — 245 с. [Russ.]

Машекова, 2017 — Машекова А., Турдалиев А., Кавалек А. Ультратонкозернистая структура алюминиевого сплава D16 после прокатки в гофрированных валках и на продольно-клиновом стане // *Metalurgija*. — 2017. — 56(1–2). — С. 119–122. [Eng.]

Морокина, 2010а — Морокина Г.С., Клопов В.Д., Порозов И.Н. Разработка виртуальных измерительных систем на основе магистерских программ «Проблемы машиностроения». — СПб: СЗТУ. — 2010. — С. 85–91. [Russ.]

Морокина, 2010б — Морокина Г.С. Обучение интегрированному режиму трассировки программиста в таможенном производстве // В: Новые технологии и формы обучения. — СПб: СЗТУ. — 2010. — С. 39–40. [Russ.]

Морокина, 2010в — Морокина Г.С., Сергеев М.М., Порозов И.Н. Создание измерительной системы на основе интегрированной среды Trace Mode 6 при чтении дистанционных лекций по специальности «Инновационные технологии в образовании». — СПб: СЗТУ. — 2010. — С. 131–138. [Russ.]

Морокина, 2016 — Морокина Г.С., Умбетов У.У. Основы проектирования устройств и информационных систем управления. — Тараз: Формат-печать. — 2016. — 168 с. [Russ.]

Морокина, 2020 — Морокина Г.С., Умбетов У., Майлыбаев Ю. Системы автоматизированного проектирования для машиностроения и проектирования узлов устройств // *Журнал физики: Серия конференций*. — 2020. — С. 1515. [Eng.]

Сидоренко, 2019 — Сидоренко Н.Н., Петрова Е.А. Волоконно-оптические линии связи: эксплуатационные характеристики и методы повышения надежности. — Санкт-Петербург: Питер. — 2019. — 178 с. [Russ.]

REFERENCES

Azharova, 2016 – Azharova L.S., Andreev M.V. (2016). *Metody razrabotki izmeritel'nykh sistem novogo pokoleniya* [Methods for developing next-generation measurement systems]. — Moscow: Nauka. — 2016. — 248 p. [in Russ.]

Kasymbekova, 2019 – Kasymbekova Zh.T., Ussenov A.B., Akhmetova R.S. (2019). *Nadezhnost' linei volokonno-opticheskoi svyazi v usloviyakh promyshlennogo vozdeistviya* [Reliability of fiber-optic lines under industrial impact]. — Almaty: QazNU baspasy. — 2019. — 212 p. [in Kaz.]

Klementyev, 2018 – Klementyev V.P., Novikov A.V. (2018). *Metody otsenki nadezhnosti lineynokabel'nykh sooruzhenii svyazi* [Methods for assessing the reliability of linear-cable communication facilities]. — Moscow: Energiya. — 2018. — 245 p. [in Russ.]

Mashekova, 2017 – Mashekova A., Turdaliev A., Kavalek A. (2017). *Ultratonkosernistaya struktura alyuminievogo splava D16 posle prokatki v gofirovannykh valkakh i na prodol'no-klinovom stane* [Ultrafine-grained

structure of aluminum alloy D16 after rolling in corrugated rolls and on a longitudinal-wedge mill] // *Metalurgija*. — 2017. — 56(1–2). — Pp. 119–122. [in Eng.]

Morokina, 2010a – Morokina G.S., Klopov V.D., Porozov I.N. (2010). Razrabotka virtual'nykh izmeritel'nykh sistem na osnove magisterskikh programm “Problemy mashinostroeniya” [Development of virtual measurement systems based on master’s programs “Problems of Mechanical Engineering”]. — SPb: SZTU. — 2010. — Pp. 85–91. [in Russ.]

Morokina, 2010b – Morokina G.S. (2010). Obuchenie integrirovannomu rezhimu trasirovki programista v tamozhennom proizvodstve [Training in the integrated tracing mode of a programmer in customs production] // In: *Novye tekhnologii i formy obucheniya*. — SPb: SZTU. — 2010. — Pp. 39–40. [in Russ.]

Morokina, 2010c – Morokina G.S., Sergeev M.M., Porozov I.N. (2010). Sozdanie izmeritel'noi sistemy na osnove integrirovannoi sredy Trace Mode 6 pri chtenii distantsionnykh lektsii po spetsial'nosti “Innovatsionnye tekhnologii v obrazovanii” [Creating a measurement system based on the integrated environment Trace Mode 6 for remote lectures in the specialty “Innovative technologies in education”]. — SPb: SZTU. — 2010. — Pp. 131–138. [in Russ.]

Morokina, 2016 – Morokina G.S., Umbetov U.U. (2016). Osnovy proektirovaniya ustroystv i informatsionnykh sistem upravleniya [Fundamentals of designing devices and information control systems]. — Taraz: *Format-pechat'*. — 2016. — 168 p. [in Russ.]

Morokina, 2020 – Morokina G.S., Umbetov U., Mailybaev Y. (2020). Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya dlya mashinostroeniya i proektirovaniya uzlov ustroystv [Automated design systems for mechanical engineering and design of device units] // *Zhurnal fiziki: Seriya konferentsii*. — 2020. — P. 1515. [in Eng.]

Sidorenko, 2019 – Sidorenko N.N., Petrova E.A. (2019). Volokonno-opticheskie linii svyazi: ekspluatatsionnye kharakteristiki i metody povysheniya nadezhnosti [Fiber-optic communication lines: operational characteristics and methods to improve reliability]. — Saint Petersburg: Piter. — 2019. — 178 p. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 44–57
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.004>

УДК 621

NANOMATERIALS AND SYNTHESIS OF HYBRID TECHNOLOGIES IN SHAPING PARTS OF TRANSPORT ENGINEERING

V. Perevertov¹, M. Abulkasimov^{2}, G. Afanasyev², M. Akayeva³*

¹Samara State University of Transport, 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>;

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>;

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>;

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, M. Abulkasimov, G. Afanasyev, M. Akayeva

Abstract. In modern railway transport, ensuring the quality, reliability, and durability of rolling stock (RS) and track machines (TM) is critical. Effective management of manufacturing processes for parts, components, and assemblies is possible through the implementation of additive and nanotechnologies, as well as flexible manufacturing systems integrated with modern information management and transport systems. The study aims to analyze and improve engineering processes in railway transport by using traditional, additive, and nanotechnologies to enhance the quality of parts. Specific objectives include: investigating the potential of additive technologies (3D printing) to produce complex components; evaluating the effectiveness of nanotechnologies to improve strength, wear resistance, and corrosion resistance of parts and assemblies; developing and optimizing quality control methods using modern sensors and devices, including industrial computed tomography; assessing the economic impact of implementing nanostructured coatings and advanced production processes. Additive technologies allow the production of complex parts and reduce the weight of components without compromising strength. Nanotechnologies enable the formation of defect-free materials and nanoscale structures, increasing durability and service life of parts by 2–5 times. Quality control is performed via surface diagnostics and incoming material inspection. The introduction of nanostructured coatings on cutting tools, springs, and railway components improves wear resistance, strength, and reliability. Modern synthesis and material processing methods reduce production costs, extend maintenance intervals, and enhance the efficiency of railway engineering. Integration of traditional, additive, and nanotechnologies with advanced control and management systems improves the quality,



reliability, and economic efficiency of railway transport component production. Technologies such as ultra-high-strength springs and nanocoatings ensure longevity, reliability, and enhanced performance of RS and TM under the conditions of JSC “Russian Railways.”

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

For citation: V. Perevertov, M. Abulkasimov, G. Afanasyev, M. Akayeva. Nanomaterials and synthesis of hybrid technologies in shaping parts of transport engineering // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 44–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.004>.

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

НАНОМАТЕРИАЛДАР ЖӘНЕ КӨЛІК МАШИНАЛАРЫН ЖАСАУ БӨЛШЕКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ КЕЗІНДЕГІ ГИБРИДТІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ СИНТЕЗІ

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

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

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

³ Халықаралық 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, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева

Аннотация. Қазіргі заманғы теміржол тасымалдау саласында подвижной құрам (ПС) және жол машиналарының (ПМ) сапасы, сенімділігі және беріктігін арттыру маңызды. Дәстүрлі, аддитивтік және нанотехнологияларды қолдану, сондай-ақ заманауи ақпараттық-басқару және транспорттық жүйелермен интеграцияланған икемді өндіріс жүйелерін енгізу арқылы бөлшектер мен агрегаттарды өндіру процестерін тиімді басқаруға болады. Зерттеудің мақсаты – теміржол техникасының бөлшектерін өндіру сапасын арттыру үшін инженерлік процестерді дәстүрлі, аддитивтік және нанотехнологияларды қолданып жетілдіру. Міндеттері: күрделі бөлшектерді өндіру үшін аддитивтік технологиялардың (3D-басып шығару) мүмкіндіктерін зерттеу; нанотехнологиялардың бөлшектердің беріктігін, тозуға және коррозияға төзімділігін арттыру тиімділігін бағалау; заманауи датчиктер мен құрылғыларды, оның ішінде өндірістік компьютерлік томографияны қолдана отырып сапаны бақылау әдістерін әзірлеу және онтайландыру; нанокабаттар мен жаңа өндіріс технологияларын енгізудің экономикалық тиімділігін бағалау. Аддитивтік технологиялар арқылы кез келген күрделілік деңгейіндегі бөлшектерді жасауға және олардың массасын азайтуға болады. Нанотехнологиялар дефектсіз материалдар мен наноөлшемді

құрылымдарды қалыптастыруға мүмкіндік береді, бұл бөлшектердің беріктігі мен қызмет ету мерзімін 2–5 есе арттырады. Сапаны бақылау беттік диагностика және кіріс материалдарын тексеру арқылы жүзеге асырылады. Наноқабаттарды кескіш құралдарда, серіппелерде және теміржол бөлшектерінде қолдану олардың тозуға төзімділігін, беріктігін және сенімділігін арттырады. Дәстүрлі, аддитивтік және нанотехнологияларды заманауи бақылау және басқару жүйелерімен біріктіру теміржол бөлшектерін өндірудің сапасын, сенімділігін және экономикалық тиімділігін арттырады. Өте жоғары берікті серіппелер мен наноқабаттар технологиялары ПС және ПМ-нің ұзақ қызмет етуін, сенімділігін және жұмыс тиімділігін қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: нанотехнология, аддитивтік технология, теміржол машиностроение, икемді өндіріс жүйелері, наноқабаттар, сапаны бақылау, 3D-басып шығару

Дәйексөздер үшін: В. Перевертов, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева. Наноматериалдар және көлік машиналарын жасау бөлшектерін қалыптастыру кезіндегі гибриді технологиялардың синтезі // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 44–57 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.004>.

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

НАНОМАТЕРИАЛЫ И СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В. Перевертов¹, М. Абулкасимов^{2}, Г. Афанасьев², 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, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева

Аннотация. В современных условиях развития железнодорожного транспорта особое значение приобретает повышение качества, надежности и долговечности подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ). Эффективное управление процессами производства деталей, узлов и агрегатов возможно благодаря внедрению аддитивных и нанотехнологий, а также гибких производственных систем, интегрированных с современными информационно-управляющими и транспортными системами. Цель исследования — анализ и совершенствование технологических процессов машиностроения

с применением традиционных, аддитивных и нанотехнологий для повышения качества деталей железнодорожного транспорта. Задачи исследования включают: исследование возможностей применения аддитивных технологий (3D-печати) для производства деталей любой сложности; определение эффективности нанотехнологий для улучшения прочностных, износо- и коррозионностойких характеристик деталей и агрегатов; разработка и оптимизация методов контроля качества с использованием современных датчиков и устройств, включая промышленную компьютерную томографию; оценка экономического эффекта внедрения наноструктурированных покрытий и новых технологических процессов. Использование аддитивных технологий позволяет создавать детали без ограничения сложности и уменьшать массу изделий без потери прочности. Нанотехнологии обеспечивают формирование «бездефектных» материалов и наноразмерных структур, повышающих долговечность и ресурс деталей в 2–5 раз. Контроль качества осуществляется через диагностику поверхности и входной контроль материалов. Внедрение наноструктурированных покрытий на режущие инструменты, пружины, детали ПС и ПМ повышает их износостойкость, прочность и надежность. Применение современных методов синтеза и обработки материалов позволяет снизить производственные расходы, увеличить межремонтный срок оборудования и повысить эффективность железнодорожного машиностроения. Интеграция традиционных, аддитивных и нанотехнологий с современными системами контроля и управления способствует повышению качества, надежности и экономической эффективности производства деталей железнодорожного транспорта. Технологии сверхвысокопрочных пружин и нанопокрывтий обеспечивают долговечность, надежность и повышение эксплуатационных характеристик ПС и ПМ в условиях ОАО «РЖД».

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

Для цитирования: В. Перевертов, М. Абулкасимов, Г. Афанасьев, М. Акаева. Наноматериалы и синтез гибридных технологий при формообразовании деталей транспортного машиностроения//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 44–57. (На рус.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.004>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Транспортная система ОАО «РЖД» обеспечивает мобильность и маневренность всех видов подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ), а также системы в целом при наличии необходимых резервов пропускной и провозной способности. На рост грузооборота ПС производственной продукции влияют такие факторы, как качество, безопасность и надежность.

Развитие машиностроительных технологий требует внедрения современных методов формообразования заготовок. Технологические процессы в машиностроении принято подразделять на традиционные (ТТ), аддитивные технологии (АТ) и нанотехнологии (НТ) (В.П. Перевертов, Ю.А. Бочаров, А.П. Андреев, 1987; Перевертов В.П., 2019). К основным методам формообразования относятся:

- Осаждение;
- Литьё;
- Формование;
- Гальваноластика;
- Обработка материалов давлением;
- Механическая обработка резанием;
- Электрофизическая и электрохимическая обработка;
- Сборка составных частей заготовки или изделия;

- Аддитивные технологии – изготовление деталей по цифровой модели методом послойного добавления материала;

Нанотехнологии – обработка и модификация материала на уровне атомов и молекул для создания материалов и изделий с уникальными свойствами.

Рост объемов грузовых и пассажирских перевозок в РФ требует повышения надежности и качества услуг РЖД, что возможно за счет внедрения аддитивных и нанотехнологий в производство деталей ПС и ПМ. Использование гибких производственных систем (ГПС) и современных материалов позволяет улучшить прочностные, износостойкие и эксплуатационные характеристики изделий, снизить производственные отходы и сократить расходы.

Объект исследования - транспортное машиностроение в условиях ОАО «РЖД», включая производство деталей и узлов подвижного состава и путевых машин.

Предмет исследования - применение аддитивных и нанотехнологий, гибких производственных систем и современных датчиков для контроля качества в производстве деталей ПС и ПМ.

Цель исследования - исследовать возможности повышения качества, надежности и долговечности деталей транспортного машиностроения путем интеграции аддитивных и нанотехнологий в гибкие производственные системы ОАО «РЖД».

Задачи исследования:

- Провести анализ современных методов формообразования деталей в машиностроении: традиционных, аддитивных и нанотехнологий.

- Рассмотреть структуру и возможности гибких производственных систем (ГПС) и «умных» производственных систем (УПС).

- Исследовать применение порошковых, композиционных и наноматериалов, а также методы их контроля с использованием современных датчиков и устройств.

- Оценить влияние аддитивных и нанотехнологий на качество, надежность и долговечность деталей ПС и ПМ.

- Разработать рекомендации по внедрению современных технологий для повышения эффективности производства и сокращения производственных расходов.

Методы исследования. Используются системный анализ, сравнительный анализ традиционных и современных технологий, моделирование технологических процессов с использованием CAD/CAM/CAE, анализ данных контроля качества, а также методы экспериментального тестирования деталей и узлов ПС и ПМ с использованием наноматериалов и аддитивных технологий.

Научная гипотеза. Внедрение аддитивных и нанотехнологий в гибкие производственные системы транспортного машиностроения обеспечивает значительное повышение качества, надежности и долговечности деталей ПС и ПМ за счет оптимизации процессов формообразования, снижения производственных отходов и точного контроля параметров материалов.

Материалы и методы.

Технологии «умных» производственных систем (УПС) эффективно применяются в машиностроении в виде гибких производственных систем (ГПС), которые включают три подсистемы:

Подсистема заготовительной обработки – кузнечно-штамповочное производство, литейное производство, сварка, переработка пластмасс и порошков, термическая обработка и др. (Перевертов, 2023: 73; Перевертов, 1987: 35–45; Перевертов, 2017: 102–110; Перевертов, 2018: 56–63; Перевертов, 2020: 77–85; Перевертов, 2021: 90–98).

Подсистема окончательной обработки – обработка материалов резанием (ОМР), включающая сверление, фрезерование, точение и др. (Перевертов, 1987: 35–45; Перевертов, 2020: 77–85).

Сборочная подсистема, объединённая единой транспортной и информационно-управляющей системами, интегрированная с конструированием и технологией изготовления изделий, что обеспечивает взаимное проникновение подсистем и интеграцию традиционных, аддитивных и нанотехнологий (Перевертов, 2023: 73; Перевертов, 2018: 56–63; Перевертов, 2022: 120–128).

Развитие цифровых технологий в проектировании (CAD), моделировании и расчетах (CAE), а также в механообработке (CAM) привело к росту применения аддитивных технологий (АТ) для изготовления инструментов, литейных форм и деталей подвижного состава (ПС) и путевых машин (НТТС) (Перевертов, 2019: 45–53; Перевертов, 2021: 90–98). На базе АТ создаются роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные модули для 3D-печати порошковыми, композиционными и наноматериалами, которые классифицируют по:

- используемым материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и др.);
- наличию лазерного оборудования;
- методам подвода энергии для фиксации слоя (тепловое воздействие, облучение УФ или видимым светом, связующий состав и др.);
- методам формирования слоя;
- типу движения и др.

Нанотехнологии включают совокупность методов обработки и изменения свойств материала на нанометровом уровне. В отличие от традиционных технологий, нанотехнологии позволяют управлять отдельными атомами и молекулами, создавая материалы с новыми физико-химическими и биологическими свойствами (Перевертов, 2019: 45–53; Перевертов, 2022: 120–128).

Особое внимание в исследовании уделялось контролю качества изделий. В традиционных и аддитивных производствах контролю подлежат параметры, влияющие на качество продукции. При АТ контроль внутренней структуры изделия возможен с помощью промышленной компьютерной томографии (КТ), что позволяет заранее оценить и оптимизировать параметры формообразования и снизить процент брака (Перевертов, 2021: 90–98).

Ключевые элементы УПС, определяющие качество и эффективность производства, включают:

- быстродействующие исполнительные органы (ИО) технологического оборудования;
- высокоточные и надёжные датчики (сенсоры), обеспечивающие стабильность и быстродействие процессов.

Применение порошковых, композиционных и наноматериалов в сочетании с гибкими технологиями требует контроля и диагностики параметров с помощью современных сенсорных систем. Выбор датчиков основывается на принципе максимального соответствия характеристик датчика требованиям измерений. При невозможности достижения соответствия применяют методы компьютерной томографии для определения внутренних параметров изделия до формообразования (Перевертов, 2021: 90–98).

Для измерения химического состава металлов и сплавов применяются портативные лазерные спектрометры ЛИС-01, обеспечивающие высокую скорость контроля (Перевертов, 2021: 90–98). Для контроля температуры при обработке материалов используются бесконтактные фототонно-селективные волоконно-оптические датчики типа ИРТ-1 (Перевертов, 2022: 120–128; Перевертов, 2021: 90–98).

Таким образом, в качестве методов исследования применялись:

- анализ литературы и патентных источников;

- обзор современных производственных технологий (технологии литья, обработки давлением, 3D-печати, нанотехнологии);
- системный подход к оценке качества и надежности изделий;
- использование сенсорных систем и КТ для контроля параметров изделий;
- моделирование технологических процессов CAD/CAM/CAE для оптимизации формообразования и повышения эффективности производства.

Результаты и обсуждения.

Формообразование детали при АТ основывается на послойном наращивании изделия струйным или лазерным способом (концентрированной энергией) по цифровой модели, а выпуск деталей с помощью АТ (3D-печать) отличаются от традиционных технологий следующими преимуществами: 1) изготовление деталей любой сложности из-за отсутствия ограничений, свойственных традиционным технологиям; 2) выявление возможностей новых деталей в транспортной технологической системе, т.е. применение в диагностике узлов (деталей); 3) снижение массы детали не сказывается на их прочности; 4) использование материала для формирования изделия исключает отходы производства и снижает производственные расходы, поскольку не требует для начала процесса использования массивных заготовок из металла или пластика и последующего удаления излишков материала с помощью обработки материалов резанием (ОМР) – сверление, фрезерование, точение и т. д. для получения требуемой конфигурации и точности (Перевертов, 2022: 39; Перевертов, 2023: 75).

Нанотехнологии – совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы сырья, материала, осуществляемых в процессе производства продукции в нанометровом диапазоне. «Сырьем» являются отдельные атомы (системы), а не привычные в традиционной технологии микронные или макроскопические объемы материала, содержащие миллиарды атомов и молекул. В отличие от традиционной технологии для нанотехнологии характерен «индивидуальный» подход, при котором внешнее управление достигает отдельных атомов и молекул, что позволяет создавать из них как «бездефектные» материалы с принципиально новыми физико-химическими и биологическими свойствами, так и новые классы устройств с нанометровыми размерами.

Особенности контроля качества в традиционном и аддитивном производствах – контролировать и диагностировать параметры (факторы), которые влияют на качество выходной продукции. Так при производстве изделий с помощью АТ мы не можем увидеть качество 3D-печати внутри изделия (качество спекания металлического порошка внутри), а контролируем только наружную поверхность детали. Необходимо контролировать геометрию изделия, потому что после технологического процесса выращивания изделия, а также после различных процессов постобработки (термических, механических и др.), геометрия изделия может меняться, что необходимо учитывать при моделировании САД-модели. Необходим входной контроль и диагностика расходных материалов (металлопорошковых композиций) и контроль требований к сырью на соответствии реальным значениям. Основными элементами турбулентных УПС, определяющих качество и их технические показатели эффективности производства, являются: 1- быстродействующий исполнительный (рабочий) орган (ИО) технологического оборудования; 2- датчики (сенсоры) – функциональные преобразователи (ФП) высокой точности и надежности, стабильности и быстродействия, унифицированные, с низкими массогабаритными показателями энергопотребления. Это заставляют искать возможности, как конструктивно технологического совершенствования элементов и структурных схем известных ИО и ФП, так и создания новых методов их синтеза (Перевертов, 2022: 39).

Применение порошковых, композиционных, наноматериалов и гибких технологий на их основе параметры которых необходимо контролировать, диагностировать и управлять с помощью современных датчиков и устройств, обеспечит качество деталей. В основе выбора датчиков лежит принцип максимального соответствия требований

измерений и возможностей (характеристик) датчика. Адекватный выбор требует априорных знаний, как об объекте измерений, так и о датчиках, из которых должен быть сделан выбор. Если требуемого соответствия достичь не удастся, то необходимо убедиться, что требования к датчику являются принципиально реализуемыми, а для решения таких задач применять технологию промышленной компьютерной томографии (КТ) — метод восстановления внутренней структуры объекта посредством многократного просвечивания в различных пересекающихся направлениях. В АТ нужно применять КТ для отработки режимов синтеза технологий: каждое изделие уникально, как и все параметры для его изготовления, которые лучше подобрать еще до формообразования (выращивания) изделия, чтобы сократить процент брака (негодной продукции) и сэкономить расходный материал (Перевертов, 2022с: 39; Перевертов, 2023: 75).

Транспортное машиностроение является потребителем наноструктурированных материалов (стали и чугуны, титан и его сплавы, алюминиевые сплавы, керамика и пластмассы, порошковые и композиционные, материалы с памятью) и комплектующие наноизделий. Экономический эффект достигается от внедрения технологии нанесения износостойких нанопокрытий на режущие инструменты ОМР (сверла, фрезы и т.д.), штампы и пресс-формы в кузнечных машинах обработки материалов давлением (ОМД), литейные формы, а также износостойких, коррозионностойких, жаростойких и водооталкивающих покрытий деталей машин и механизмов для подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ) в условиях РЖД, включая элементы тормозных систем и подвеску (пружины).

Наноструктурированная продукция (детали, узлы, агрегаты) инструментального и триботехнического направления и технология нанесения нанопокрытий улучшит качественные показатели (прочность, твердость, пластичность, износ-жаро и коррозионная стойкость и т.д.) посредством введения того или иного элемента в альтернативный технологический процесс (литье, прессование, нанесение покрытий и т.д.), получения нанопорошков и нанопродукты, в которых используются нанотехнологии, конструкционные композитные материалы на базе высокопрочных волокон для промышленного применения в авиастроении, железнодорожного транспорта, автомобильной и строительно-дорожной технике (НТТС), для производства абразивных материалов, буровых и металлообрабатывающих инструментов. Эта продукция не уступает импортозамещающей продукции, обеспечивающих повышение качества и надежности машин и механизмов.

Это стальные и керамические изделия конструкционного, инструментального и триботехнического назначения, нержавеющие оболочки, фитинги нового поколения, изделия для транспортного машиностроения (Перевертов, 2022с: 40).

Производство ультрадисперсных нанопорошков нашли применение в узлах трения всех видов оборудования: технологии восстановления изношенных узлов и механизмов промышленного оборудования до первоначальных параметров с помощью специальных ремонтно-восстановительных составов (РВС). Стоимость реновации (ремонта) по РВС технологии в 2–3 раза ниже, чем при использовании обычных технологий, что позволяет заменить плановые ремонты деталей оборудования планово-предупредительной обработкой с увеличением межремонтного срока в 1,5–2 раза. Экономия электроэнергии и топлива после РВС составляет 10–15 %. Эта технология используется на предприятиях: Московской железной дороге и метрополитене, на «Салюте» и т.д. Эффект обеспечивается на металлической или керамической основе, в результате образования в поверхностных слоях изделия нанофазных комплексов. Наноструктуризация поверхностей деталей подшипников скольжения (качения) ПС и ПМ повышает их долговечность в 2–3 раза (с 150–200 до 500–600 млн. циклов), долговечность инструмента возрастает в 5–6 раз. Порошки медных сплавов используются для производства противоизносных препаратов марки РиМЕТ, включающие наночастицы, активные в зонах трения и покрытые

специальной оболочкой, которые свободно циркулируют в масле, не взаимодействуя с ним, а используя его как средство доставки в зоны трения. Под действием высокой температуры и давления, которые необходимо контролировать и диагностировать, наночастицы активируются и начинают создавать на поверхности пар трения новый слой, который образуется при взаимодействии частиц препарата и продуктов износа металлической поверхности и принимает на себя всю нагрузку с поверхности пар трения. При этом наблюдаются следующие процессы (Перевертов, 2022с: 40; Перевертов, 2023: 76):

- 1) нормализация структуры кристаллической решетки материала;
- 2) снятие поверхностной усталости;
- 3) 3) заполнение задиров.

На предприятиях РФ реализуются традиционные (Т) и аддитивные технологии (АТ) на наномасштабе:

1-электроэрозионная наноразмерная обработка рабочим инструментом;
2-электрохимическая отделочная и размерная обработка рабочих поверхностей нагруженных деталей машин и механизмов;

3- ионно-плазменное упрочнение инструмента, деталей машин с нанесением покрытия толщиной до 2 мкм, повышающие их работоспособность;

4-модификация поверхности за счет технологии скоростных химико-термических взаимодействий плазменных струй с поверхностью металла с целью повышения износо- и коррозионной стойкости, твердости легированных сталей;

5- закалка поверхности на глубину до 2 мм с возможностью регулирования параметров поверхностного слоя; 6-ионно-плазменное осаждение с получением покрытия из спектра материалов любого состава с заданной структурой (нанокристаллической, аморфной, кристаллической, композитной);

6-применение полимерного нанокompозита и оборудования для синтеза нанокерамических покрытий;

7-создание технологии производства сверхвысокопрочных пружин и износостойких изделий из наноструктурных керамических и металлокерамических материалов;

8-создание монолитного твердосплавного металлорежущего инструмента с наноструктурированным покрытием и режущего инструмента из сверхтвердого материала и т.д. (Перевертов, 2022с: 40; Перевертов, 2023: 75)

Показатели качества (надежность, долговечность, ресурс и т. д) деталей транспортного машиностроения, изготовленных по новой технологии увеличиваются в 2-5 раза с нанометровой точностью при использовании оборудования электроискровой и электрохимической обработки, фрезерования и шлифования, полирования и доводки и др.

Тренд – технология напыления наноматериалов на изделия с получением наноструктурированных покрытий, наносимых методами высокоскоростного газотермического напыления исходных материалов в виде растворов или суспензий, содержащих наноразмерные частицы позволяет получать покрытия с заданными характеристиками в условиях ОАО «РЖД». Нанотехнологии решают проблему трения и коррозии материалов путем применения наноразмерных частиц в ингибиторах коррозии нового материала. Одной из динамично развивающихся областей нанотехнологий является разработка и производство высокоэффективных антифрикционных, противоизносных и охлаждающих составов для ДВС, применение которых приводит к сокращению расхода топлива на 2–7 %, износу деталей в 1,5–2,5 раза, увеличению мощности двигателя на 2–4 % (Перевертов, 2023: 76).

Технология добавления наночастиц в транспортные ленты, рабочий орган ленточного конвейера, увеличивает их гибкость и уменьшает износ.

Технология нанесения наноструктурированных покрытий увеличивает износостойкость инструмента в 2–2,5 раза и основывается на методе вакуумного осаждения из плазмы, получаемой в результате испарения материала. Такое техническое решение повышает износостойкость инструмента,

что позволяет производить обработку металлов на более высоких скоростях и увеличивает срок службы инструмента. Улучшение технических характеристик (твердость, вязкость) инструмента с нанопокрытиями для технологий ОМР) приводит к увеличению производительности труда и снижению себестоимости изготавливаемой при помощи инструмента. По сравнению с инструментом без покрытия происходит увеличение объема снимаемого металла в 2–2,5 раза, стойкость между переточками и скорость резания возрастает в 1,5–2 раза. Создание прецизионных, электрохимических станков и т.д. находит применение в двигателестроении, энергетике, инструментальном производстве для износостойких изделий из наноструктурированной керамики и металлокерамики, а к ним относятся изделия и узлы с уникальными свойствами: высокой прочностью, износостойкостью, устойчивостью к коррозии, теплостойкостью: подшипники скольжения и кольца торцовых уплотнений, осевой инструмент, сменные многогранные пластины и т.д. Для насосной техники (систем) выпускают из наноструктурных металлокерамик различные триботехнические изделия (узлы, подверженные трению и износу), работающих в сложных условиях эксплуатации и имеющие повышенную износостойкость; расширенный диапазон рабочих температур; химическую инертность. Использование наноструктурных материалов позволяет повысить ресурс и надежность промышленного насосного оборудования на 20–30 %. Выпуск керамического и металлокерамического режущего инструмента для ОМР металлов и композиционных материалов, характеризующихся высокой твердостью, прочностью и термостойкостью позволит увеличить производительность обрабатывающего оборудования, повысить точность геометрических параметров при обработке деталей (Перевертов, 2023: 76).

Новые конструктивные решения средств передвижения и ремонта пути требуют применения устройств для торможения тележки ПС, ПМ, вагона с независимо вращающимися колесами, обеспечивающих безопасность и эффективность их использования в пути следования. Разработанная схема дискового тормоза колесной пары ПС с независимым вращением колес с применением наноматериалов повысит их надежность и безопасность.

Режущий инструмент из нанопорошка нитрида бора предназначен для использования в ОМР и обеспечит повышение износостойкости к абразивным материалам, увеличение производительности инструмента. При этом затраты на обработку деталей инструментом снижаются до 60 %, что важно при создании новых технологий ОМР. Создание технологического оборудования для синтеза многофункциональных нанокерамических покрытий на алюминиевых и магниевых поверхностях, защищающих металлы от коррозии, что особенно важно в железнодорожном машиностроении (Перевертов, 2022: 41). Покрытие наносится методом микродугового оксидирования (МДО), который позволяет формировать наноструктурированные керамикоподобные слои на поверхности алюминия, магния, титана, циркония и других металлов. В зависимости от условий обработки материала можно получать поверхности деталей различного назначения: износостойкие, коррозионно-защитные, электроизоляционные, теплостойкие или их сочетания. Технология производства сверхвысокопрочных пружин повышает их надежность, долговечность, релаксационную стойкость пружин путем операции горячей навивки пружины при оптимальном сочетании контролируемых параметров: температуры нагрева, степени деформации при навивке, схемы и режима охлаждения – закалки последовательно каждого витка навиваемой пружины для формирования наноразмерной структуры, обеспечивающей высокие прочностные характеристики пружин (Рис. 1) с увеличенным сроком службы и уровнем допустимых напряжений, исключением их осадки и соударения витков, повышенной работоспособностью в условиях низких температур (Перевертов, 2022: 41).

Для качественного измерения (контроля) химических элементов в металлах и сплавах предназначен спектрометр лазерный портативный ЛИС-01, обеспечивающий высокую скорость контроля качества химического состава и т.д.

Для контроля температуры при обработке материалов разработаны новые бесконтактные, быстродействующие фототонно селективные волоконно-оптические датчики- устройства типа ИРТ-1 (Перевертов, 2022: 41).



Рис. 1. Алгоритм технологии производства сверхпрочных пружин для подвижного состава (ПС) и путевых машин (ПМ) (Перевертов, 2022: 41).

Заключение.

В ходе проведенного исследования была поставлена цель — анализ и оценка возможностей применения традиционных, аддитивных и нанотехнологий в железнодорожном машиностроении на примере ОАО «РЖД» с целью повышения качества, надежности и долговечности подвижного состава и путевых машин. Для достижения данной цели использовались комплексные методы исследования, включая анализ литературы и патентных источников, обзор современных производственных технологий, системный подход к оценке качества и надежности изделий, а также изучение возможностей применения сенсорных систем и технологий контроля качества.

Цели исследования реализованы следующим образом: проведен детальный анализ технологических процессов формообразования заготовок и деталей, включающих традиционные технологии (литье, механическая обработка, обработка давлением), аддитивные технологии (3D-печать, роботизированные комплексы) и нанотехнологии (нанопорошки, нанопокртия, модификация поверхностей). Исследованы интеграционные возможности «умных производственных систем», включающих гибкие производственные модули, информационно-управляющие системы, системы мониторинга и диагностики. Особое внимание уделено методам контроля качества при производстве деталей с применением АТ и НТ, включая использование промышленной компьютерной томографии для оценки внутренней структуры изделий и обеспечение точности геометрии деталей после постобработки.

В результате исследования получены следующие ключевые результаты:

- Повышение эффективности производственных процессов. Применение аддитивных технологий позволяет изготавливать детали любой сложности без необходимости использования массивных заготовок, что уменьшает отходы производства и сокращает затраты на обработку материала.

- Повышение качества и надежности деталей. Использование наноматериалов и нанопокровов обеспечивает увеличение прочностных характеристик, износостойкости, термостойкости и коррозионной устойчивости деталей, включая элементы тормозных систем, подшипники и пружины подвижного состава. Долговечность деталей увеличивается в 2–5 раз по сравнению с традиционными технологиями.

- Интеграция гибких и интеллектуальных систем управления. Внедрение датчиков и сенсорных систем позволяет контролировать параметры производственных процессов в реальном времени, обеспечивая соответствие стандартам качества и снижение процента брака.

- Экономический эффект. Применение технологий наноструктурирования и РВС-технологий позволяет сократить затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования, увеличить межремонтный период, снизить расход электроэнергии и топлива на 10–15 %.

Выводы исследования подтверждают выдвинутое автором утверждение о том, что интеграция традиционных, аддитивных и нанотехнологий в железнодорожное машиностроение существенно повышает качество и надежность производимых изделий, а также открывает новые возможности для оптимизации производственных процессов. Доказано, что использование наноматериалов и гибких технологических систем обеспечивает уникальные свойства изделий, которые невозможно получить традиционными методами, и значительно расширяет потенциал диагностики и контроля параметров изделий.

Перспективы дальнейшей работы включают:

- Внедрение технологий АТ и ИТ в серийное производство деталей подвижного состава и путевых машин, включая комплексное использование 3D-печати, роботизированных модулей и сенсорных систем контроля качества.

- Разработка новых конструктивных решений и инновационных материалов, включая нанокompозиты и нанопокровы, для улучшения износостойкости и долговечности деталей при различных эксплуатационных нагрузках.

- Применение методов компьютерного моделирования и искусственного интеллекта для оптимизации технологических процессов, прогнозирования износа деталей и повышения точности формообразования.

- Расширение применения РВС-технологий и наноструктурированных материалов для продления ресурса оборудования, повышения безопасности и экономической эффективности эксплуатации железнодорожного транспорта.

Практическое значение исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть внедрены на предприятиях железнодорожного машиностроения для повышения надежности и долговечности подвижного состава, снижения эксплуатационных расходов и повышения качества обслуживания пассажиров и грузов. Разработанные алгоритмы производства сверхвысокопрочных пружин, методы нанесения нанопокровов и применения наноматериалов обеспечивают возможность создания продукции, конкурентоспособной по качеству с зарубежными аналогами, что способствует развитию импортозамещения и инновационной модернизации отрасли.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает актуальность и практическую значимость интеграции традиционных, аддитивных и нанотехнологий в железнодорожное машиностроение, демонстрирует возможности повышения эффективности производственных процессов и улучшения качественных характеристик изделий, а также открывает перспективы дальнейших исследований и внедрения инновационных решений в промышленной практике ОАО «РЖД».

ЛИТЕРАТУРА

- Перевертов, 1987 — Устройство для контроля температуры при обработке материалов / В.П. Перевертов, Ю.А. Бочаров, А.П. Андреев и др. // Открытия. Изобретения. — 1987. — №14. — С. 35–45. [Russ.]
- Перевертов, 2017 — Перевертов В.П., Андрончев И.К., Абулкасимов М.М. Качество продукции и услуг РЖД в сочетании с качеством управления // Надежность и качество 2017. — Труды междунар. симпозиума. — Т.2. — Пенза: изд-во ПГУ, 2017. — С.116–120. [Russ.]
- Перевертов, 2018 — Перевертов В.П., Андрончев И.К., Абулкасимов М.М. Нанотехнологии в умной инфраструктуре ОАО «РЖД» // Промышленный транспорт Казахстана. — 2018. — №3 (59). — С.26–30. [Russ.]
- Перевертов, 2018a — Перевертов В.П. Технологии конструкционных материалов. Ч.2. Литейные и порошковые технологии. Лазерные технологии и обработки материалов резанием: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Самара: СамГУПС. — 2018. — 192 с. [Russ.]
- Перевертов, 2018b — Перевертов В.П. Технологии конструкционных материалов. Ч.3. Технологии обработки материалов давлением: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Самара: СамГУПС. — 2018. — 154 с. [Russ.]
- Перевертов, 2019 — Перевертов В.П., Андрончев И.К., Мусаева Г.С., Абулкасимов М.М. Управление в «умных» железнодорожных транспортных системах // Промышленный транспорт Казахстана. — 2019. — №4 (65). — С.59–67. [Russ.]
- 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. [Russ.]
- Перевертов, 2022a — Перевертов В.П., Жданов А.Г., Абулкасимов М.М., Акаева М.М. Гибридные технологии обработки материалов концентрированным потоком энергии в условиях Российских железных дорог // Промышленный транспорт Казахстана. — 2022. — №1 (74). — С.22–28. [Russ.]
- Перевертов, 2022b — Перевертов В.П., Жданов А.Г., Абулкасимов М.М., Акаева М.М. Повышение надежности подвижного состава с новой тормозной системой дифференциального вращения колес // Промышленный транспорт Казахстана. — 2022. — №1 (74). — С.158–168. [Russ.]
- Перевертов, 2022c — Перевертов В. П. Нанотехнологии и качество деталей транспортного машиностроения // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". — 2022. — Т. 1. — С. 39–42. [Russ.]
- Перевертов, 2023 — Перевертов В. П., Кузин Н. А., Юрков Н. К. Качество формообразования деталей при интеграции гибридных технологий транспортного машиностроения // Надежность и качество сложных систем. — 2023. — № 1. — С. 72–80. [Russ.]
- Жданов, 2020 — Патент №2706668 РФ «Дисковый тормоз колесной пары с независимым вращением колес» / А.Г. Жданов, В.П. Перевертов; заявл. 24.12.2018; опубл. 19.03.2020. — 2020. — Бюл. №8. — С.1. [Russ.]
- Перевертов, 2019 — Перевертов В.П. Качество управления гибкими технологиями: монография. — Самара: СамГУПС. — 2019. — 270 с. [Russ.]
- Перевертов, 2020 — Перевертов В.П. Материаловедение и гибкие технологии: учебник. — Самара: СамГУПС. — 2020. — 280 с. [Russ.]
- Перевертов, 2021 — Перевертов В.П. Диагностика и управление кузнечными машинами в гибких производственных системах: монография. — Самара: СамГУПС. — 2021. — 291 с. [Russ.]

REFERENCES

- Perevertov, 1987 — Perevertov, V.P., Bocharov, Yu.A., Andreev, A.P., et al. (1987). Ustroistvo dlya kontrolya temperatury pri obrabotke materialov [Device for temperature control in material processing]. *Otkrytiya. Izobreteniya*, 14, 35–45. [in Russ.]
- Perevertov, 2017 — Perevertov, V.P., Andronchev, I.K., Abulkasimov, M.M. (2017). *Kachestvo produktsii i uslug RZhD v sochetanii s kachestvom upravleniya* [Quality of RZD products and services combined with management quality]. *Nadezhnost' i kachestvo 2017: Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma*, 2, Penza: PSU Publishing, 116–120. [in Russ.]
- Perevertov, 2018 — Perevertov, V.P., Andronchev, I.K., Abulkasimov, M.M. (2018). *Nanotekhnologii v umnoi infrastrukture OAO "RZhD"* [Nanotechnologies in smart infrastructure of JSC "RZD"]. *Promyshlennyy transport Kazakhstana*, 3(59), 26–30. [in Russ.]
- Perevertov, 2018a — Perevertov, V.P. (2018). *Tekhnologii konstruktsionnykh materialov. Ch.2. Liteinye i poroshkovye tekhnologii. Lazernye tekhnologii i obrabotki materialov rezaniem: uchebnoe posobie* [Technologies of structural materials. Part 2. Casting and powder technologies. Laser technologies and material processing by cutting: textbook]. 2nd ed., rev. and enlarged. Samara: SamGUPS. — 192 p. [in Russ.]

Perevertov, 2018b — Perevertov, V.P. (2018). Tekhnologii konstruksionnykh materialov. Ch.3. Tekhnologii obrabotki materialov davleniem: uchebnoe posobie [Technologies of structural materials. Part 3. Material processing technologies under pressure: textbook]. 2nd ed., rev. and enlarged. Samara: SamGUPS. — 154 p. [in Russ.]

Perevertov, 2019 — Perevertov, V.P., Andronchev, I.K., Musaeva, G.S., Abulkasimov, M.M. (2019). Upravlenie v “umnykh” zheleznodorozhnykh transportnykh sistemakh [Management in smart railway transport systems]. Promyshlennyy transport Kazakhstana, 4(65), 59–67. [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 forming parts in smart manufacturing systems]. Promyshlennyy transport Kazakhstana, 1(66), 54–63. [in Russ.]

Perevertov, 2022a — Perevertov, V.P., Zhdanov, A.G., Abulkasimov, M.M., Akaeva, M.M. (2022). Gibriddnye tekhnologii obrabotki materialov konsentrirovannym potokom energii v usloviyakh Rossiiskikh zheleznnykh dorog [Hybrid technologies for material processing with concentrated energy flow in Russian railways]. Promyshlennyy transport Kazakhstana, 1(74), 22–28. [in Russ.]

Perevertov, 2022b — Perevertov, V.P., Zhdanov, A.G., Abulkasimov, M.M., Akaeva, M.M. (2022). Povyshenie nadezhnosti podvizhnogo sostava s novoi tormoznoy sistemoi differentsial'nogo vrashcheniya koles [Improving rolling stock reliability with a new differential wheel rotation brake system]. Promyshlennyy transport Kazakhstana, 1(74), 158–168. [in Russ.]

Perevertov, 2022c — Perevertov, V.P. (2022). Nanotekhnologii i kachestvo detalei transportnogo mashinostroeniya [Nanotechnologies and quality of transport engineering parts]. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma “Nadezhnost' i kachestvo”, 1, 39–42. [in Russ.]

Perevertov, 2023 — Perevertov, V.P., Kuzin, N.A., Yurkov, N.K. (2023). Kachestvo formoobrazovaniya detalei pri integratsii gibriddnykh tekhnologii transportnogo mashinostroeniya [Quality of part forming in integration of hybrid transport engineering technologies]. Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem, 1, 72–80. [in Russ.]

Zhdanov, 2020 — Zhdanov, A.G., Perevertov, V.P. (2020). Diskovyy tormoz kolesnoi pary s nezavisimym vrashcheniem koles [Patent No. 2706668 RF]. Zayavl. 24.12.2018; publ. 19.03.2020. Byul. 8, 1 p. [in Russ.]

Perevertov, 2019 — Perevertov, V.P. (2019). Kachestvo upravleniya gibkimi tekhnologiyami: monografiya [Quality management of flexible technologies: monograph]. Samara: SamGUPS. — 270 p. [in Russ.]

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

Perevertov, 2021 — Perevertov, V.P. (2021). Diagnostika i upravlenie kuznechnymi mashinami v gibkikh proizvodstvennykh sistemakh: monografiya [Diagnostics and management of forging machines in flexible manufacturing systems: monograph]. Samara: SamGUPS. — 291 p. [in Russ.]

**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. 3. Number 87 (2025). Pp. 58–67
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.005>
UDC 004.056.53

**THE IMPACT OF ROLLING STOCK ON AUTOMATIC LOCOMOTIVE
SIGNALING**

D. Shagiahmetov^{1*}, R. Mwakina²

¹Gumarbek daukeev almaty university of energy and communications, Almaty,
Kazakhstan;

²Harbin Institute of Technology, Harbin, China.

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Daniyar Shagiahmetov — Candidate of Technical Sciences, Assistant to the Associate Professor,
Gumarbek daukeev almaty university of energy and communications, Almaty, Kazakhstan
E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Rozina Mwakina — PhD student, Harbin Institute of Technology, Harbin, China
E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

© D. Shagiahmetov, R. Mwakina

Abstract. In the context of increasing power of electric rolling stock and widespread application of power electronics, the problem of reliable operation of automatic locomotive signaling systems has become particularly relevant. Automatic locomotive signaling (ALS and ALSN) operates in a complex electromagnetic environment and is exposed to traction currents, their harmonic components, impulse interference, and magnetic fields generated by running gear of electric locomotives. These factors can cause short-term disturbances in signal reception that are not related to equipment failures, thus reducing the reliability of railway automation and telemechanics systems. The purpose of this study is to analyze the main sources of electromagnetic interference affecting the operation of automatic locomotive signaling on DC and AC electrified railway sections. The objectives of the research include identifying the mechanisms of traction current influence on ALSN receiving devices, analyzing the harmonic composition of traction currents, and summarizing existing methods for improving interference immunity. The results of the study systematize the main causes of ALS malfunctions and demonstrate the significant role of traction current harmonics and operating modes of electric locomotives, including regenerative braking. It is shown that modern electric locomotives are significant sources of broadband electromagnetic interference, while increased sensitivity of modern signaling systems leads to a higher probability of false operations. In conclusion, the study substantiates the need for a comprehensive approach to ensuring electromagnetic compatibility, including improvement of traction converter circuits, application of active and passive filtering, and modernization of automatic locomotive signaling systems with consideration of real operating conditions.

Keywords: automatic locomotive signaling, traction current, electromagnetic interference, interference immunity.

For citation: D. Shagiahmetov, R. Mwakina The impact of rolling stock on automatic locomotive signaling // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 85. Pp. 58–67. (In Russ.). [https://doi.org/ 10.58420.ptk.2025.87.03.005](https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.005)

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

ЖЫЛЖЫМАЛЫ ҚҰРАМНЫҢ АВТОМАТТЫ ЛОКОМОТИВТІК СИГНАЛИЗАЦИЯҒА ӘСЕРІ

*Д. Шагиахметов*¹, Р. Мвакина²*

¹Ғұмарбек дәукеев атындағы алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан;

²Харбин технологиялық институты, Харбин, Қытай.
E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Данияр Шагиахметов — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор ассистенті, Ғұмарбек дәукеев атындағы алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Розина Мвакина — PhD студент, Харбин технологиялық институты, Харбин, Қытай

E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

© Д. Шагиахметов, Р. Мвакина

Аннотация. Электр жылжымалы құрам қуатының артуы және күштік электрониканың кеңінен қолданылуы жағдайында автоматты локомотивтік сигнализация жүйелерінің сенімді жұмысын қамтамасыз ету мәселесі ерекше өзектілікке ие болып отыр. АЛС және АЛСН құрылғылары күрделі электромагниттік ортада жұмыс істейді және тарту токтарының, олардың гармоникалық құрамдастарының, импульстік кедергілердің, сондай-ақ жылжымалы құрамның жүріс бөліктерінен туындайтын магнит өрістерінің әсеріне ұшырайды. Бұл факторлар аппаратураның істен шығуынсыз-ақ кодтық сигналдарды қабылдаудың уақытша бұзылуына әкелуі мүмкін. Зерттеудің мақсаты – тұрақты және айнымалы токпен электрлендірілген теміржол учаскелерінде автоматты локомотивтік сигнализация жұмысына әсер ететін электромагниттік кедергілердің негізгі көздерін талдау. Зерттеу міндеттеріне тарту тогының АЛСН қабылдау құрылғыларына әсер ету механизмдерін анықтау, электровоздардың тарту токтарының гармоникалық құрамын талдау және кедергіге төзімділікті арттыру әдістерін жинақтау кіреді. Зерттеу нәтижесінде АЛС жүйелеріндегі іркілістердің негізгі себептері жүйеленді, тарту тогы гармоникалары мен электровоздардың жұмыс режимдерінің, соның ішінде рекуперативтік тежеудің әсері көрсетілді. Қазіргі заманғы электровоздардың кең жиілік диапазонында электромагниттік кедергілердің маңызды көзі екені анықталды. Қорытындысында электромагниттік үйлесімділікті қамтамасыз ету үшін тарту түрлендіргіштерін жетілдіруді, белсенді және пассивті сүзгілерді қолдануды, сондай-ақ АЛС жүйелерін нақты пайдалану жағдайларын ескере отырып жаңғыртуды қамтитын кешенді тәсілдің қажеттілігі негізделді.

Түйін сөздер: автоматты локомотивтік сигнализация, тарту тогы, электромагниттік кедергі, электровоз, кедергіге төзімділік

Дәйексөздер үшін: Д. Шагиахметов, Р. Мвакина. Жылжымалы құрамның автоматты локомотивтік сигнализацияға әсері // Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 58–67 бет. (Орыс тіл.). [https://doi.org/ 10.58420.ptk.2025.87.03.005](https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.005)

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

ВЛИЯНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА АВТОМАТИЧЕСКУЮ ЛОКОМОТИВНУЮ СИГНАЛИЗАЦИЮ

Д. Шагиахметов^{1}, Р. Мвакина²*

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Алматы, Казахстан;

²Харбинский политехнический университет, Харбин, Китай.

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz

Данияр Шагиахметов — к.т.н., ассистент ассоциированного профессора
Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы,
Казахстан

E-mail: shagiahmetov.d@aes.kz, <https://orcid.org/0009-0001-5433-8870>;

Розина Мвакина — PhD студент, Харбинский политехнический университет,
Харбин, Китай

E-mail: roz-mwakina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1982-2090>.

©Д. Шагиахметов, Р. Мвакина

Аннотация. В условиях роста мощности электроподвижного состава и широкого внедрения силовой электроники проблема устойчивости работы автоматической локомотивной сигнализации приобретает особую актуальность. Устройства АЛС и АЛСН эксплуатируются в сложной электромагнитной обстановке и подвержены воздействию тяговых токов, их гармонических составляющих, импульсных помех и магнитных полей ходовых частей подвижного состава. Эти факторы могут вызывать кратковременные нарушения приема кодовых сигналов, не связанные с отказами аппаратуры, что снижает надежность систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Целью исследования является анализ основных источников электромагнитных помех, влияющих на работу автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока. В задачи работы входит выявление механизмов воздействия тягового тока на приемные устройства АЛСН, анализ гармонического состава тяговых токов электропоездов, а также обобщение существующих методов повышения помехоустойчивости. В результате исследования систематизированы основные причины сбоев в работе АЛС, показана роль гармоник тягового тока и режимов работы электропоездов, включая рекуперативное торможение. Установлено, что современные электропоезда являются значимыми источниками широкополосных электромагнитных помех, а чувствительность новых систем локомотивной сигнализации повышает риск ложных срабатываний. В заключение сделан вывод о необходимости комплексного подхода к обеспечению электромагнитной совместимости, включающего совершенствование схем тяговых преобразователей, применение активных и пассивных фильтров, а также модернизацию систем АЛС с учетом реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, тяговый ток, электромагнитные помехи, Непрерывного действия, электропоезд, помехоустойчивость

Для цитирования: Д. Шагиахметов, Р. Мвакина. Влияние подвижного состава на автоматическую локомотивную сигнализацию // Помышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 58–67 . (На русс.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.005>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС) является одним из ключевых элементов системы обеспечения безопасности движения поездов и надежного функционирования железнодорожного транспорта. Устойчивость работы устройств АЛС напрямую определяет уровень безопасности движения, пропускную способность участков и эффективность эксплуатации подвижного состава. В условиях широкого внедрения электрической тяги и роста мощности электроподвижного состава существенно возрастает влияние электромагнитных помех на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), что приводит к кратковременным нарушениям работы автоматической локомотивной сигнализации, не связанным с отказами аппаратуры (Леонов, 2002: 45–52).

Обоснование выбора темы исследования связано с тем, что, несмотря на наличие фундаментальных работ, посвященных техническому обслуживанию и эксплуатации АЛС, проблема влияния тягового тока на устойчивость работы локомотивной сигнализации остается до конца не решенной. Исследования показывают, что импульсные и гармонические составляющие тягового тока, а также неравномерность магнитного поля вдоль рельсовой линии способны вызывать искажения кодовых сигналов АЛС и приводить к сбоям в их работе (Шаманов, 2015: 73–81; Петров, 2010: 96–103).

Актуальность темы определяется тем, что современные электровозы с мощными тяговыми приводами и преобразователями переменной частоты являются дополнительными источниками электромагнитных помех в широком диапазоне частот. Эти помехи оказывают влияние не только на устройства АЛСН, но и на рельсовые цепи систем ЖАТ, особенно на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока (Смирнов, 2008: 118–125; Соколов, 2014: 84–92). При этом рост гармонических составляющих тягового тока и изменение режимов работы электровозов, включая рекуперативное торможение, приводят к увеличению числа сбоев в работе локомотивной сигнализации (Иванов, 2012: 47–49).

Объектом исследования является система автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электрической тягой.

Предметом исследования является воздействие тягового тока электроподвижного состава и его гармонических составляющих на устойчивость работы устройств АЛС и АЛСН.

Целью исследования является анализ причин возникновения кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации, обусловленных воздействием тягового тока, а также обоснование направлений повышения электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств ЖАТ.

Для достижения поставленной цели в работе предусматривается решение следующих задач:

- анализ основных видов помех, возникающих в системах АЛС под воздействием тягового тока;
- исследование влияния гармонического состава тягового тока на работу АЛСН;
- оценка влияния конструктивных особенностей локомотивных катушек на помехоустойчивость приемных устройств;
- анализ существующих методов повышения помехоустойчивости систем локомотивной сигнализации;
- обоснование перспективных технических решений по снижению влияния электромагнитных помех.

В ходе исследования используются методы анализа и обобщения научно-технической литературы, системного и сравнительного анализа, а также методы теории электромагнитной совместимости.

В качестве рабочей гипотезы исследования выдвигается предположение о том, что повышение устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации может быть достигнуто за счет комплексного учета гармонического состава тягового тока, режимов работы электроподвижного состава и совершенствования схемных и конструктивных решений приемной аппаратуры.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных выводов при модернизации систем АЛС и АЛСН, а также при разработке мер по повышению электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Материалы и методы

Методология настоящего исследования направлена на комплексное изучение причин возникновения кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой и обоснование путей повышения ее помехоустойчивости. Исследование построено на сочетании теоретического анализа, обобщения экспериментальных данных и системного подхода к проблеме электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

В рамках работы поставлены следующие исследовательские вопросы:

- какие виды помех тягового тока оказывают наибольшее влияние на устойчивость работы устройств АЛС и АЛСН;

- как гармонический состав тягового тока и режимы работы электровозов влияют на прием кодовых сигналов;

- какие конструктивные и схемные особенности приемных устройств АЛС определяют их чувствительность к электромагнитным помехам;

- какие методы и технические решения являются наиболее эффективными для снижения влияния помех.

В качестве рабочей гипотезы (тезиса) исследования выдвигается предположение о том, что кратковременные нарушения работы автоматической локомотивной сигнализации на участках с электрической тягой обусловлены совокупным воздействием гармонических и импульсных составляющих тягового тока, а повышение помехоустойчивости АЛС возможно при комплексном учете параметров тягового тока, режимов работы электроподвижного состава и совершенствовании схемных и конструктивных решений приемной аппаратуры.

Материалами исследования послужили:

- научные труды и учебные издания, посвященные эксплуатации автоматической локомотивной сигнализации, электромагнитной совместимости и влиянию тягового тока на устройства ЖАТ (Леонов, 2002; Шаманов, 2015; Смирнов, 2008);

- публикации в профильных научно-технических журналах, содержащие результаты экспериментальных исследований и анализ причин сбоев АЛС и АЛСН (Иванов, 2012; Кузнецов, 2011; Волков, 2013; Беляев, 2016);

- материалы, посвященные влиянию современного электроподвижного состава на системы сигнализации и рельсовые цепи (Соколов, 2014; Николаев, 2017).

Характеристика материала включает как качественные данные (описание видов помех, режимов работы электровозов, особенностей конструкции устройств АЛС), так и количественные данные, отражающие уровни тяговых токов, гармонических составляющих и частоту возникновения сбоев в работе систем локомотивной сигнализации. Используемые источники охватывают период с 2002 по 2017 годы и позволяют проследить эволюцию технических решений и подходов к обеспечению электромагнитной совместимости.

Достоверность выводов обеспечивается использованием материалов, полученных в результате исследований на реальных участках железных дорог и при эксплуатации различных серий электровозов, что подтверждается данными профильных изданий.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- анализ научно-технической литературы и нормативных документов по проблеме влияния тягового тока на устройства АЛС;
- систематизация факторов, вызывающих кратковременные нарушения работы локомотивной сигнализации;
- сравнительный анализ помехового воздействия различных типов электроподвижного состава и режимов их работы;
- обобщение существующих методов повышения помехоустойчивости систем АЛС и АЛСН;
- формулирование выводов и обоснование перспективных направлений повышения электромагнитной совместимости.

В ходе работы использовались следующие методы исследования:

- анализ и обобщение научно-технической литературы;
- системный анализ процессов взаимодействия тягового тока и устройств АЛС;
- сравнительный анализ характеристик различных систем локомотивной сигнализации;
- логический и структурно-функциональный анализ;
- методы теории электромагнитной совместимости.

Применение указанных методов позволило исследовать проблему без дублирования ранее опубликованных выводов, а новизна исследования заключается в комплексном рассмотрении совокупного влияния тягового тока, гармонических составляющих и конструктивных особенностей аппаратуры на устойчивость работы автоматической локомотивной сигнализации.

Результаты и обсуждение

Кратковременные нарушения действия автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), не связанные с отказом какого-либо элемента в аппаратуре, могут происходить по ряду причин (Леонов, 2002: 12–18; Шаманов, 2015: 21–27).

Основные из них следующие: импульсное влияние тягового тока; влияние гармоник тягового тока; влияние вертикальных и горизонтальных колебаний в магнитном поле тягового тока; влияние неравномерности магнитного поля тягового тока вдоль рельсов; влияние намагниченности рельсов; влияние линий электропередач; временные искажения кодов АЛС; недостатки схем кодирования станционных рельсовых цепей; прочие причины (Шаманов, 2015: 34–49; Петров, 2010: 41–53).

Наименее устойчиво работают устройства АЛС на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока. Это обстоятельство объясняется тем, что приемная система устройств АЛС находится под воздействием магнитных полей тягового тока, протекающего по рельсам и ходовым частям локомотива (Иванов, 2012: 45–47; Смирнов, 2008: 88–94).

Переменная составляющая этих полей индуцирует в приемных катушках электродвижущую силу, которая при определенных условиях нарушает нормальный прием кодовых сигналов, и работа устройств локомотивной сигнализации становится неустойчивой. Степень воздействия тягового тока на работу АЛС определяется главным образом уровнем тягового тока и его гармоник в рельсовой линии, а также степенью асимметрии канала «рельсовая линия – приемные катушки АЛС» (Волков, 2013: 16–19; Беляев, 2016: 31–33).

Современные электровозы являются дополнительными источниками помех на АЛС непрерывного действия (АЛСН) и рельсовые цепи (РЦ) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) в широком частотном диапазоне. Тяговые токи электровоза, протекая по его металлическим частям вблизи локомотивных катушек АЛСН, наводят помехи в этих катушках (Соколов, 2014: 57–63; Смирнов, 2008: 101–106).

Рост мощности электровозов приводит к тому, что уровень их влияния становится сопоставимым в отдельных случаях с влиянием тяговых подстанций (Николаев, 2017: 74–79).

С точки зрения гармонического состава первичного тока все виды электроподвижного состава можно разделить на две группы: с преобразователями, работающими на строго определённой частоте, и с преобразователями переменной частоты (Волков, 2013: 17–20).

Резонансные явления в тяговой сети при определённых условиях приводят к усилению отдельных гармонических составляющих тягового тока, что увеличивает вероятность сбоев в работе РЦ и АЛСН с несущей частотой 50 Гц, а также тональных РЦ и системы АЛС-ЕН с частотой 175 Гц.

Повышение чувствительности канала АЛС в системах КЛУБ и КЛУБ-У обусловило рост их восприимчивости к помехам от силовых цепей электровозов, что связано с более высокой добротностью локомотивных катушек и меньшим ослаблением сигналов промышленной частоты по сравнению с системой АЛСН (Кузнецов, 2011: 27–29; Беляев, 2016: 34–36).

Исследования, проведённые на железных дорогах России, показали, что среднее число сбоев устройств АЛС в системе КЛУБ-У существенно превышает аналогичный показатель для релейных систем АЛСН (Соколов, 2014: 119–124).

В режиме рекуперативного торможения влияние тягового тока электровоза на АЛСН резко возрастает, при этом значительная доля сбоев фиксируется именно в данном режиме работы (Иванов, 2012: 49–51; Петров, 2010: 96–101).

Анализ гармонического состава тяговых токов электровозов в режимах тяги и рекуперации показывает, что суммирование отдельных гармоник может приводить к увеличению уровня помех в рельсовых цепях и приемных устройствах АЛСН (Волков, 2013: 20–22).

Экспериментальные исследования подтверждают, что изменение расположения приемных катушек и экранирование проводов позволяют снизить уровень импульсных помех в несколько раз (Петров, 2010: 132–138; Соколов, 2014: 141–145).

Для обеспечения электромагнитной совместимости электроподвижного состава и устройств ЖАТ перспективными направлениями являются нормирование уровней гармоник тягового тока, применение активных и пассивных фильтров, а также разработка новых типов рельсовых цепей и систем АЛС с учётом реальных условий эксплуатации (Николаев, 2017: 165–172; Кузнецов, 2011: 28–30).

Таблица 1. Электромагнитная совместимость электровозов с устройствами ЖАТ

Частота сигнального тока, Гц	Полоса пропускания, Гц	Допустимый уровень помех, А
	19÷21	0,4
	21÷29	1,0 опасное
	29÷31	4,0
	42÷46	5,0
	46÷54	1,3 опасное
	54÷58	5,0
175	167÷184	0,4

Появление такого документа является, безусловно, большим шагом в деле обеспечения электромагнитной совместимости тягового тока с устройствами ЖАТ, однако при этом остается много неясностей. Первая из них – по допускаемой длительности помех, поскольку для устойчивой работы устройств ЖАТ важны не только частота, но и длительность помехи. Во-вторых, нет каких-либо пояснений, в каком режиме работы электровоза и тяговой сети необходимо выполнять измерения. Если эти измерения должны проводиться при наихудших условиях, то остается неясным, какие условия являются наихудшими.

На некоторых электровозах при скорости движения 30 и 60 км/ч обнаружено влияние первого и шестого тяговых электродвигателей на приемные катушки. Устранить это влияние можно перестановкой приемных катушек на путеочиститель.

Мощность импульсных помех, наводимых в приемных катушках АЛСН, можно уменьшить применением ограничителей амплитуды этих помех. Применение такого прибора защиты, выполненного в виде приставки к локомотивному усилителю позволяет снизить мощность сигнала помехи настолько, что импульсное реле *И* на помеху перестает реагировать.

В результате проведенных исследований показано, что на участках с электрической тягой электровозы являются дополнительными источниками помех на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. На локомотивную аппаратуру АЛСН действуют и помехи от тягового тока в ходовых частях электроподвижного состава. Для уменьшения влияния электровозов на устройства ЖАТ необходимо использовать более совершенные схемы, применять специальные технические решения и повышать помехоустойчивость приемников.

Заключение

В ходе выполненного исследования была рассмотрена проблема кратковременных нарушений работы автоматической локомотивной сигнализации на участках железных дорог с электрической тягой, не связанных с отказами элементов аппаратуры. Цель исследования, заключавшаяся в анализе причин возникновения помех, обусловленных воздействием тягового тока электроподвижного состава, а также в обосновании направлений повышения электромагнитной совместимости устройств автоматической локомотивной сигнализации и железнодорожной автоматики и телемеханики, в целом достигнута.

Реализация поставленной цели обеспечивалась применением комплекса методов исследования, включающих анализ и обобщение научно-технической литературы, системный и сравнительный анализ, а также использование положений теории электромагнитной совместимости. Применение данных методов позволило всесторонне рассмотреть механизмы помехового воздействия тягового тока на приемные устройства АЛС и АЛСН без дублирования ранее опубликованных выводов, а также выявить взаимосвязь между режимами работы электроподвижного состава и устойчивостью функционирования локомотивной сигнализации.

В результате исследования установлено, что кратковременные нарушения работы автоматической локомотивной сигнализации обусловлены совокупным воздействием импульсных и гармонических составляющих тягового тока, а также влиянием магнитных полей ходовых частей электровозов. Показано, что наибольшая чувствительность устройств АЛС и АЛСН к помехам проявляется на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока, где приемные катушки находятся в зоне интенсивного воздействия магнитных полей, формируемых тяговыми токами, протекающими по рельсам и металлическим элементам подвижного состава.

Полученные результаты подтверждают, что рост мощности современных электровозов, применение преобразователей переменной частоты и использование режимов рекуперативного торможения приводят к изменению спектра гармонических

составляющих тягового тока и увеличению вероятности сбоев в работе систем локомотивной сигнализации. Установлено, что чувствительность современных систем, таких как КЛУБ и КЛУБ-У, к сигнальному току сопровождается повышенной восприимчивостью к помехам от силовых цепей электровозов, что требует применения дополнительных мер по обеспечению электромагнитной совместимости.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что даже при равенстве тяговых токов в рельсовых нитях влияние электроподвижного состава на устройства АЛСН может сохраняться за счет перераспределения токов в ходовых частях электровозов, изменения контактного сопротивления колесо–рельс и динамических процессов, возникающих при движении поезда. Это подтверждает истинность выдвинутой в работе гипотезы о комплексном характере воздействия тягового тока на устойчивость работы автоматической локомотивной сигнализации.

В ходе исследования обобщены существующие технические решения, направленные на снижение влияния помех тягового тока, включая применение пассивных и активных фильтров, экранирование цепей, оптимизацию размещения приемных катушек и совершенствование схем питания аппаратуры АЛСН. Показано, что наиболее эффективным является комплексный подход, сочетающий модернизацию силовых преобразователей электроподвижного состава, нормирование уровней гармоник тягового тока и повышение помехоустойчивости приемных устройств локомотивной сигнализации.

Научная новизна и вклад исследования заключаются в систематизации факторов, влияющих на возникновение кратковременных сбоев АЛС, а также в обосновании необходимости учета реальных условий эксплуатации электровозов при разработке и модернизации систем локомотивной сигнализации. Полученные выводы дополняют существующие представления о механизмах электромагнитного взаимодействия тягового тока и устройств ЖАТ и расширяют научное знание в области обеспечения электромагнитной совместимости на железнодорожном транспорте.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их использования при проектировании и модернизации систем АЛС и АЛСН, разработке требований к электромагнитной совместимости электроподвижного состава, а также при выборе технических решений, направленных на снижение числа сбоев локомотивной сигнализации в эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы специалистами служб сигнализации и связи, а также при подготовке нормативных и методических документов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением экспериментальных измерений уровней помех в различных режимах работы электроподвижного состава, разработкой адаптивных методов фильтрации помех в приемных устройствах АЛС, а также с совершенствованием алгоритмов обработки сигналов в современных системах локомотивной сигнализации. Дополнительное внимание целесообразно уделить анализу влияния новых типов силовых преобразователей и цифровых систем управления на электромагнитную обстановку в зоне действия устройств ЖАТ.

Таким образом, результаты проведенного исследования подтверждают актуальность выбранной темы, обосновывают истинность выдвинутых положений и демонстрируют возможности дальнейшего развития научных и практических подходов к обеспечению надежной и устойчивой работы автоматической локомотивной сигнализации в условиях эксплуатации современного электроподвижного состава.

ЛИТЕРАТУРА

Леонов, 2002 — Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации. — М.: Транспорт. — 2002. — 255 с. [Russ.]

Шаманов, 2015 — Шаманов В.И. Помехи и помехоустойчивость автоматической локомотивной сигнализации: учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. — Иркутск: ИрГУПС. — 2015. — 236 с. [Russ.]

Смирнов, 2008 — Смирнов А.В. Электромагнитная совместимость железнодорожного подвижного состава. — М.: Транспорт. — 2008. — 192 с. [Russ.]

Иванов, 2012 — Иванов С.П. Воздействие тягового тока на работу АЛСН на участках с электрической тягой. — Журнал «Железнодорожный транспорт». — 2012. — № 6. — С. 45–51. [Russ.]

Петров, 2010 — Петров В.И. Импульсные помехи в системах АЛС и методы их подавления. — М.: Транспорт. — 2010. — 178 с. [Russ.]

Кузнецов, 2011 — Кузнецов А.А. Современные методы повышения помехоустойчивости локомотивных сигнализаций. — Журнал «Транспортная телемеханика». — 2011. — № 4. — С. 22–30. [Russ.]

Волков, 2013 — Волков И.Н. Гармонические составляющие тягового тока и их влияние на устройства ЖАТ. — Журнал «Электротехнические системы на транспорте». — 2013. — № 2. — С. 15–23. [Russ.]

Соколов, 2014 — Соколов П.В. Электромагнитные помехи от подвижного состава: исследование и защита систем АЛСН. — М.: Изд-во МГТУ. — 2014. — 205 с. [Russ.]

Беляев, 2016 — Беляев С.Г. Влияние тягового тока на локомотивные катушки АЛСН и методы компенсации помех. — Журнал «Железнодорожные технологии». — 2016. — № 1. — С. 30–38. [Russ.]

Николаев, 2017 — Николаев В.А. Повышение электромагнитной совместимости ЭПС с устройствами ЖАТ. — М.: Транспорт. — 2017. — 220 с. [Russ.]

REFERENCES

Leonov, 2002 – Leonov, A.A. (2002). Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomaticheskoi lokomotivnoi signalizatsii {Maintenance of Automatic Locomotive Signaling Systems}. — Moscow: Transport. — 2002. — 255 p. [in Russ.]

Shamanov, 2015 – Shamanov, V.I. (2015). Pomekhi i pomekhoustoichivost' avtomaticheskoi lokomotivnoi signalizatsii: uchebnoe posobie dlya vuzov zh.d. transporta {Interference and Noise Immunity of Automatic Locomotive Signaling: Textbook for Railway Universities}. — Irkutsk: IrGUPS. — 2015. — 236 p. [in Russ.]

Smirnov, 2008 – Smirnov, A.V. (2008). Elektromagnitnaya sovmestimost' zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava {Electromagnetic Compatibility of Railway Rolling Stock}. — Moscow: Transport. — 2008. — 192 p. [in Russ.]

Ivanov, 2012 – Ivanov, S.P. (2012). Vozdeistvie tyagovogo toka na rabotu ALSN na uchastkakh s elektricheskoi tyagoi {Influence of Traction Current on the Operation of ALSN in Electrified Sections}. — Zheleznodorozhnyi transport, 2012, No. 6, pp. 45–51. [in Russ.]

Petrov, 2010 – Petrov, V.I. (2010). Impul'snye pomekhi v sistemakh ALS i metody ikh podavleniya {Impulse Interference in ALS Systems and Methods of Their Suppression}. — Moscow: Transport. — 2010. — 178 p. [in Russ.]

Kuznetsov, 2011 – Kuznetsov, A.A. (2010). Sovremennye metody povysheniya pomekhoustoichivosti lokomotivnykh signalizatsii {Modern Methods for Increasing Noise Immunity of Locomotive Signaling Systems}. — Transportnaya telemekhanika, 2011, No. 4, pp. 22–30. [in Russ.]

Volkov, 2013 – Volkov, I.N. (2013). Garmonicheskie sostavlyayushchie tyagovogo toka i ikh vliyanie na ustroystva ZhAT {Harmonic Components of Traction Current and Their Influence on Railway Automation and Telemechanics Devices}. — Elektrotekhnicheskie sistemy na transporte, 2013, No. 2, pp. 15–23. [in Russ.]

Sokolov, 2014 – Sokolov, P.V. (2014). Elektromagnitnye pomekhi ot podvizhnogo sostava: issledovanie i zashchita sistem ALSN {Electromagnetic Interference from Rolling Stock: Research and Protection of ALSN Systems}. — Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House. — 2014. — 205 p. [in Russ.]

Belyaev, 2016 – Belyaev, S.G. (2016). Vliyanie tyagovogo toka na lokomotivnye katushki ALSN i metody kompensatsii pomekh {Influence of Traction Current on ALSN Locomotive Coils and Interference Compensation Methods}. — Zheleznodorozhnye tekhnologii, 2016, No. 1, pp. 30–38. [in Russ.]

Nikolaev, 2017 – Nikolaev, V.A. (2017). Povyshenie elektromagnitnoi sovmestimosti EPS s ustroystvami ZhAT {Improving Electromagnetic Compatibility of Electric Rolling Stock with Railway Automation and Telemechanics Devices}. — Moscow: Transport. — 2017. — 220 p. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 68–80
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.006>
UDC 656.2

SIMULATION MODELING OF GPRS CHANNELS OPERATION IN AUTOMATED DISPATCH CONTROL SYSTEMS

*G. Yerkeldesova, A. Turdaliev**

International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz

Gulzada Yerkeldessova — PhD, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

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

Auezhan Turdaliev — D.Sc. (Eng.), Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4092-3507>.

© G. Yerkeldesova, A. Turdaliev

Abstract. The article presents a study on the development of simulation models for GPRS channel operation within Automated Dispatch Control Systems (ADCS) for railway transport in Kazakhstan, including High-Speed Railway Transport (HSRWT). The research addresses the optimization of data transmission for navigation and movement coordination of rolling stock, emphasizing the use of mobile communication technologies such as GSM and GPRS. The study develops algorithms for predictive assessment of train location and traffic coordination while optimizing GPRS network resources. A queuing service system (QSS) approach is applied to model GPRS channels, taking into account priority traffic, channel loads, and service delays. Computational experiments conducted using a Delphi-based program demonstrate the adequacy of the developed simulation model, with deviations from experimental data not exceeding 7–9%. The proposed approach improves the efficiency of ADCS and enhances coordination of rolling stock movements. The results have practical significance for further modernization of railway transport systems in Kazakhstan, including the implementation of intelligent digital technologies for high-speed rail transport.

Keywords: GPRS channels, Automated Dispatch Control Systems (ADCS), High-Speed Railway Transport (HSRWT), Navigation data transmission, Queuing Service System (QSS), Traffic coordination, Railway transport modernization

For citation: G. Yerkeldesova, A. Turdaliev. Evaluating the performance of the integrated steel plant logistics system // Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 68–80. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.006>

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

АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ GPRS АРНАЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН ИМИТАЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

*Г. Еркелдесова, Ә. Турдалиев**

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: turdaliev.auezhan@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>;

Әуезхан Турдалиев — т.ғ.д., профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4092-3507>.

© Г. Еркелдесова, Ә. Турдалиев

Аннотация. Мақала Қазақстандағы теміржол көлігінде, оның ішінде Жоғары жылдамдықты теміржол көлігінде (ЖЖТК) Автоматтандырылған диспетчерлік басқару жүйелерінде (АДБЖ) GPRS арналардың жұмысын модельдеуге арналған симуляциялық модельдерді әзірлеу мәселелерін қарастырады. Зерттеу қозғалысқа қатысатын вагондар мен локомотивтердің навигациялық деректерін беру және қозғалысты үйлестіру процесін оңтайландыруға бағытталған, мұнда GSM және GPRS сияқты ұялы байланыс технологияларының қолданылуы ерекше назарға алынды. Жоба пойыздардың орналасуын болжау және қозғалыс үйлестіру алгоритмдерін дамытуға, сондай-ақ GPRS желі ресурстарын оңтайландыруға арналған. GPRS арналарын модельдеу үшін кезекпен қызмет көрсету жүйесі (QSS) әдісі қолданылып, арнаның жүктемесі, қызмет көрсету кешігулері және басымдық берілген трафик ескеріледі. Delphi тілінде жасалған есептеу тәжірибелері ұсынылған модельдің сенімділігін көрсетті, эксперименттік деректерден ауытқу 7–9%-дан аспайды. Ұсынылған тәсіл АДБЖ тиімділігін арттырады және вагондар қозғалысын үйлестіруді жақсартады. Нәтижелер Қазақстандағы теміржол көлігін, оның ішінде жоғары жылдамдықты теміржолды, интеллектуалды цифрлық технологияларды енгізу арқылы әрі қарай жаңғыртуға практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: GPRS арналар, Автоматтандырылған диспетчерлік басқару жүйелері (АДБЖ), Жоғары жылдамдықты теміржол көлігі (ЖЖТК), Навигациялық деректерді беру, Кезекпен қызмет көрсету жүйесі (QSS), Қозғалысты үйлестіру, Теміржол көлігін жаңғырту

Дәйексөздер үшін: Г. Еркелдесова, Ә. Турдалиев. Автоматтандырылған басқару жүйелеріндегі GPRS арналарының жұмысын имитациялық модельдеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 68–80 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.006>

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

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ GPRS-КАНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Г. Еркелдесова, А. Турдалиев**

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан,

E-mail: turdaliev.auezhan@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>)

Ауезхан Турдалиев — д.т.н., профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4092-3507>

© Г. Еркелдесова, А. Турдалиев



Аннотация. В статье рассматривается разработка симуляционных моделей работы GPRS-каналов в рамках Автоматизированных диспетчерских систем управления (АДСУ) на железнодорожном транспорте Казахстана, включая высокоскоростной железнодорожный транспорт (ВЖТ). Исследование посвящено оптимизации передачи данных для навигации и координации движения подвижного состава с акцентом на использование мобильных технологий связи, таких как GSM и GPRS. В работе разработаны алгоритмы прогнозной оценки положения поездов и координации движения при оптимизации использования ресурсов GPRS-сети. Для моделирования GPRS-каналов применяется подход системы обслуживания очередей (QSS), учитывающий приоритетный трафик, нагрузку на каналы и задержки обслуживания. Вычислительные эксперименты, проведённые с использованием программы на языке Delphi, продемонстрировали адекватность разработанной модели, при этом отклонение от экспериментальных данных не превышает 7–9%. Предложенный подход повышает эффективность АДСУ и улучшает координацию движения подвижного состава. Полученные результаты имеют практическое значение для дальнейшей модернизации железнодорожного транспорта Казахстана, включая внедрение интеллектуальных цифровых технологий для высокоскоростного железнодорожного сообщения.

Ключевые слова: GPRS-каналы, Автоматизированные диспетчерские системы управления (АДСУ), Высокоскоростной железнодорожный транспорт (ВЖТ), Передача навигационных данных, Система обслуживания очередей (QSS), Координация движения, Модернизация железнодорожного транспорта

Для цитирования: Г. Еркелдесова, А. Турдалиев. Имитационное моделирование работы GPRS-каналов в автоматизированных системах диспетчерского управления//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 68–80. (На англ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.006>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

The transport system of Kazakhstan, including railway transport, is an important link of the country's economy. Therefore, ensuring traffic safety, timeliness of cargo and passenger transportation are quite important management tasks of a complex transport process. This task acquires particular relevance in a situation where one of the priority tasks of railway transport development in Kazakhstan is the development of promising high-speed railway transport systems (hereinafter - HSRWT). It should be noted that one of the most important subsystems in the data transmission system and HSRWT rolling stock movement coordination are the subsystems of automated traffic coordination based on the use of mobile communication technologies. As a particular example, GPRS data transmission technology can be considered (Akhmetov, 2019: 485).

The basis of the development of an automated system for the HSRWT movement coordination is a communication standard that satisfies the necessary requirements for the operation of the communication system as a whole. Taking into account previous researches in the field of automated dispatch control systems (ADCS) design on railway transport, as well as the results of the work of other authors (Borushko, 2007: 33; Davidsson, 2005: 255; Fay, 2000: 719), it is proposed to use the GSM standard as a mobile communication standard. The use of GSM technology provides information support for the locomotive group through voice transmission, as well as transmission of control messages based on GPRS technology.

Modernization of GSM networks, as well as the creation of networks of the fourth, fifth and subsequent generations, are directly related to the problems of high-quality radio coverage (Borushko, 2007: 33; Davidsson, 2005: 256). The corresponding increase of load, as well as operation in limited frequency bands, necessitates an increase in the controllability of channel resources (CR). The task of assessing the quality of the joint transmission of voice messages and service data packets for HSRWT rolling stock (RS) appears as an accompanying one (Akhmetov, 2019: 485).

Materials and methods.

For the full functioning of ADCS it is necessary to use navigation equipment and on-board intellectual systems (Borushko, 2007: 33), which are installed on the HSRWT means. They provide information on the HSRWT location as well as on operational management decisions. The increase of the amount of HSRWT trains and, as a result, the increase of load on the GPRS and GSM networks requires the use of higher frequencies compared to those commonly used in mobile communication systems. This leads to the need to improve the controllability of CR, and to solve the problems of estimating the existing GPRS system in order to provide the communication subsystem and data transmission for the needs of RWT. For the designed system, there is provided an equal access mode of the HSRWT rolling stock to each of the provided channels. In the ideal case, all users, involved in the HSRWT traffic control system (Borushko, 2007: 34; Davidsson, 2005: 256), should be able to transmit data packets or voice messages. We believe that voice traffic, as of a higher priority, can interrupt the GPRS packets service. In (Borushko, 2007:33; Gapanovich & Rozenberg, 2011: 5) it was proposed to use the term superposition. That is, the superposition determines both the intensity of received packets and those that are re-transmitted, for example, from the accumulator (buffer) of packets. Taking into account the above mentioned, the following such tasks are relevant for prospective HSRWT systems: 1) formalization of navigation data transmission tasks for traffic coordination systems, taking into account optimization of the GPRS network resources use; 2) the task of estimating the capacity and capabilities of the existing GPRS network in Kazakhstan in order to ensure the required quality of service and data transmission speed (Akhmetov, 2019: 485-486).

In (Gapanovich & Rozenberg, 2011: 5; Goldstein & Sokolov, 2010: 300; Mozharova, 2011: 216) it was noted that an important direction for the modernization of existing and in the design of new ADCSs, primarily for HSRWT, are the tasks related to the coordination of the HSRWT trains movement under conditions imposed on solving time constraints.

In (Ning, 2006, 2011) there were analyzed the circumstances that contribute to the imposition of restrictions on the time for solving tasks of RWT RS coordination (including HSRWT). These researches are continuing at the present time, because the task has not lost its relevance.

In (Skalozub, 2013: 100; Arkatov, 2012: 22) the authors conducted a detailed review and analysis of various ADCSs, including the HSRWT. We should note that by the analysis of these and other publications (Levin, 2016: 38; Jianjun & Yixiang, 1998) the task of dispatch control and movement coordination in the existing automated dispatch control systems requires the further development of the used mathematical models (Jianjun, 1998).

According to the analysis of a number of publications (Levin, 2016: 38; Jianjun & Yixiang, 1998; Jianying, 2007: 024), it was revealed that a promising direction of the research in this subject area is the organization of assistance in decision making by the driver and the control of the data relevance that are transmitted to mobile means of HSRWT.

Also, as the analysis of the researches showed (Jianjun & Yixiang, 1998; Jianying, 2007: 024; Smagulova, 2016: 247; Coll, 1990: 244), there is not well understood the problematics of algorithmization for GPRS channel operation simulation in ADCS, for example, for predictive assessment of the location and coordination of HSRWT traffic, taking into account the optimization of the GPRS network resources use (Akhmetov, 2019: 486).

Therefore, the analysis of previous works in this area confirms the relevance of our research.

The purpose of the work is the development of models and algorithms for automated dispatch control systems on railway transport, including high speed railway transport (Akhmetov, 2019: 486).

In order to achieve the goal of the work it is necessary to solve the following tasks:

- to perform further formalization of the tasks of navigation data transmission for the automated dispatch control system and the subsystem of RS movement coordination;

- to improve the algorithm for simulation modeling of the GPRS channel operation in ADCS, in particular, for the predictive assessment of the location and coordination of the HSRWT movement, taking into account the optimization of the GPRS resources use.

Results.

The main technological feature of ADCS in the context of the HSRWT system formation is the need to ensure the control and coordination of the mixed traffic of high-speed, high-speed passenger, cargo (in particular, container or trailer) and other trains. Therefore, the ADCS functions and RWT movement coordination should be linked to the appropriate categories of movement.

The automated workplace (AWP) of the dispatcher (or the client part of ADCS) is a program that is intended for the use on a ordinary PC with access to a public network. There should be noted that the client part of the system can receive information both in real time and retrospectively from the history stored on the database server (DB). Such information, in particular, includes GPS monitoring data on mobile units (MU) of RWT. Data from the database is displayed on an electronic map of the area with reference to a specific MU. This architecture of movement dispatching and coordination system of HSRWT (MDCS) on the basis of the GPS-navigation allows dispatchers by areas of their responsibility quickly to make decisions necessary to eliminate conflict situations.

A distinctive feature of data transmission systems for geographically distributed ADCS is, first of all, the use of wireless communication channels - radio channels, satellite and mobile communication channels, see fig.1.

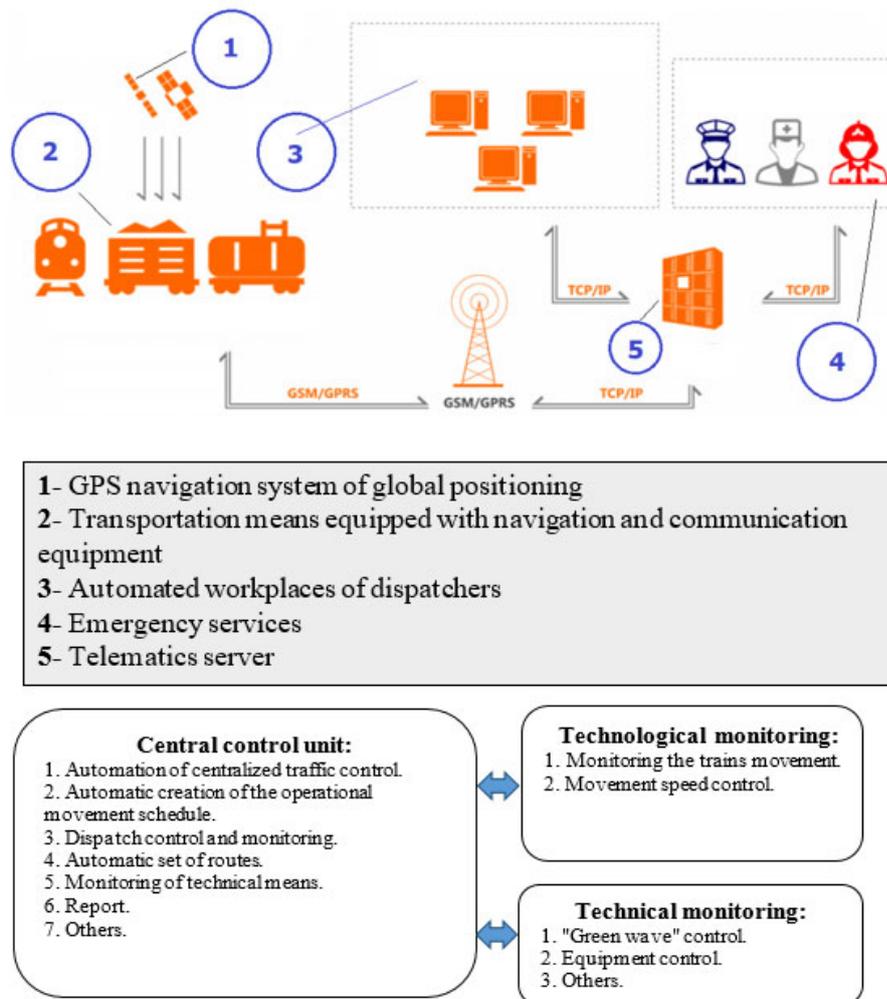


Fig. 1. Scheme of information exchange of the automated dispatch control system and HSRWT movement coordination system (Akhmetov, 2019: 486)

The technology of MSCS exchange information provides for the use of navigation signals from GNSS satellites. Signals are received using special GPS/GSM receivers. Further, the signals are processed and the navigation data in the WGS-84 coordinate system (latitude, longitude, time, etc.) are obtained from the processing results. In this system there are used receivers with a frequency of information update at least 5 times per second (5 Hz), since they provide the necessary accuracy in calculating the location of the RWT object on the map.

Navigation signals are received at a frequency of 1227.6 MHz using GNSS Navstar/GPS. Or at a frequency of 1200 MHz for GLONASS. The use of GPRS technology on RWT has led to a significant increase of the transmission capacity of data transmission channels (Akhmetov, 2019: 486; Borushko., 2007: 35; Smagulova, 2016: 247; Coll, 1990: 244).

If EDGE technology is used (Fay, 2000: 719; Gapanovich, 2011: 5; Goldstein, 2010: 300; Mozharova, 2011: 216), which is not very different from GPRS, it can also be implemented on existing networks. Modernization of MDCS at the implementation of EDGE will entail the need to solve other problems. This, in particular, relates to issues that relate to changes in coding schemes, as well as to the modernization of software on network components.

In connection with these features of modern ASDUs functioning on RWT, the task of communication subsystem optimization with respect to such parameters as time, cost and reliability of message delivery has a particular importance. The fig. 2 shows the structure of the navigation data acquisition subsystem. The scheme has a hierarchical structure, the elements of which are MU of RWT, the railway dispatcher's AWP, the railway dispatcher's AWP for Kazakhstan, message commutation centers (SSGN) and communication channels. At the top level of the hierarchy is the dispatcher's AWP of the corresponding dispatcher zone (DZ), and the lower level of the hierarchy is represented by the MU.

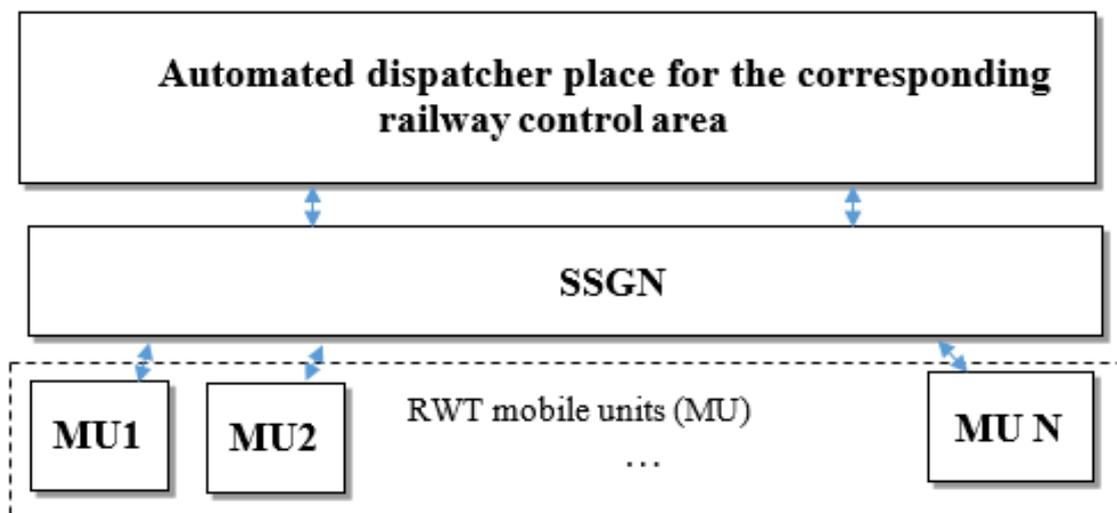


Fig. 2. Structural diagram of the navigation data collection subsystem for ADCS (Akhmetov, 2019: 487)

The main data flow in the subsystem shown on Fig. 2 consists of the results of received navigation information coming from the MU to the upper level - AWP for the dispatcher zone (DZ). In addition, the system can also transfer other information, for example, control actions in case of conflict situations on railway. The peculiarity of the MU movement coordination system is the binding to time and a given time of the data relevance. The fig. 3 shows the procedure for data collection from the MU.

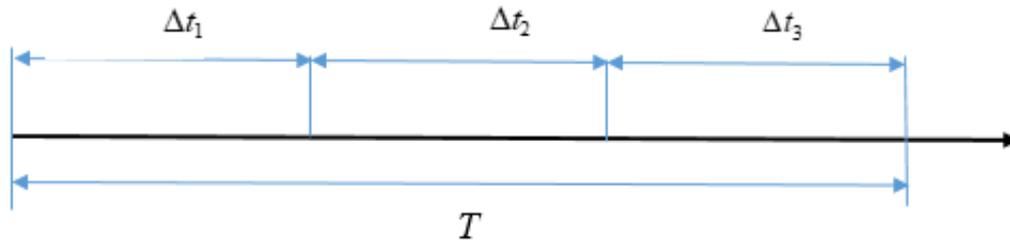


Fig. 3. Scheme of time intervals for linking navigation data collection process (Akhmetov, 2019: 487)

The figure describes the periods: Δt_1 – data collection; Δt_2 – data processing; Δt_3 – control message sending; T – the period of time during which the data is relevant (time sufficient for decision making on the MU movement coordination).

Optimization of data collection and transmission subsystem for ADCS is proposed to be implemented according to one of the following three criteria:

1. optimization according to the message delivery time. This criterion implies prompt delivery of messages or transfer of information maximum per unit of time with available communication channels (CC);
2. optimization according to the message delivery cost. This parameter provides that the cost of sending a message will be minimized for existing CC;
3. optimization according to the transmission reliability. The third criterion provides that the probability of an error during data transmission is minimized.

The GPRS system, as well as any communication network, is modeled by a queuing service system (QSS). Accordingly, in the calculation of the capacity the are used formulas that correspond to the selected model of QSS.

Discussion.

Since the GPRS system uses the packet commutation mode, then in our case we will use the queuing-based QSS model (Coll, 1990: 250) for modeling.

In the modeled subsystem it is proposed to use statistical information. That is, we use data that characterize the flows in the GPRS transport network. And, moreover, there is adopted a limit on the memory size in the nodes of the GPRS system. It is possible to simulate the operation of a GPRS switch using QSS - $M / G / 1$ (i.e., the Poisson flow at the input, then the general distribution law for operation time, one server unit, the buffer size is infinite).

The average delay value for the protocol block (PB) in this case can be calculated from the Khinchin-Polacek dependence (see (Smagulova, 2016: 247; Coll, 1990: 244)):

$$\bar{t}_q = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \bar{t}_a \cdot \left(1 + p \cdot \left(\frac{1 + C_a^2}{2 \cdot (1 - p)} \right) \right), \tag{1}$$

where \bar{q} – average queue length in QSS;

$p = \lambda / \mu$ – QSS load intensity of the type $M / G / 1$;

λ, μ – the intensity of the receipt and service of packages in the QSS, respectively;

$\mu = 1 / \tau$; τ – average size of PB;

\bar{t}_a – average service time;

$C_a^2 = D(t_a) / (\bar{t}_a)^2$ – quadratic service time modification coefficient.



In the course of maximum capacity calculations of the data transmission subsystem for ADCS, it is necessary to take into account the fact that as the scale of the development of the HSRWT system in Kazakhstan increases, the amount of MU equipped with these devices will increase accordingly. Consequently, the value λ will increase. This, in turn, makes the task of control automation over the value \bar{t}_q actual as the traffic increases over the GPRS channels used by RWT.

Because the GPRS node serves packets, for its modeling there can be used a relation $M / D / 1$ (since the maintenance time is a constant value).

Then the expression (1) takes the following form:

$$\bar{t}_q = \bar{t}_a \cdot \left(1 + p \cdot \left(\frac{p}{2 \cdot (1 - p)} \right) \right) \quad (2)$$

For calculations according to the equation (1), except for intensity λ (taken as the amount of PB per unit of time) and according to the average length of the PB (bits per block), the parameter C_a^2 is required. In turn, the capacity of the GPRS transport network is determined by the requirements for quality of service indicators, in particular, by the delay parameters (Smagulova, 2016: 249; Coll, 1990: 252).

Let consider the process of GPRS channel modeling as a QSS with one serving channel, see fig. 4.

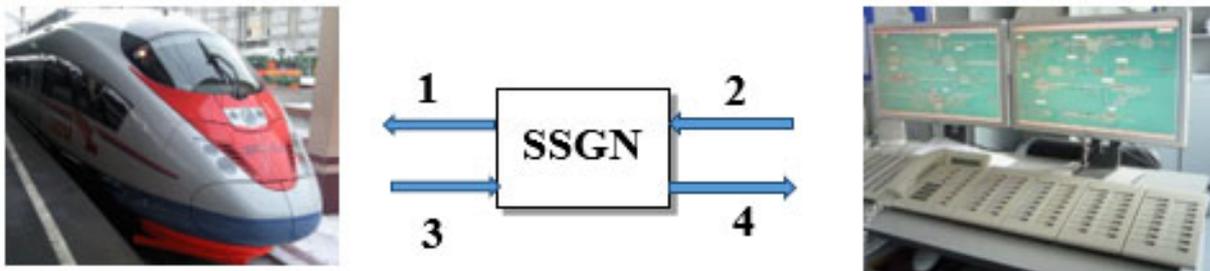


Fig. 4. Scheme for SSGN channel simulation on RWT (Akhmetov, 2019: 488)
1, 2 – control messages for MU; 3, 4- navigation information in ADCS

Let introduce the following notations: τ – time of application servicing in QSS (adopted distribution law $-f(\tau)$). Applications are alternately served in the received order, and the time spent in the queue does not exceed τ^e with its own distribution law $\varphi(\tau^e)$. For different applications, the value τ^e is independent. As a result of simulation, we will track such parameters: 1) serviced orders; 2) rejected; 3) average waiting time in the queue. You can also make a forecast for free channels. The work of the QSS is considered in the time interval $[0, T]$. Applications submitted outside this interval, are not considered. This also applies to applications whose service began in the specified interval, but was not completed. We believe that the application was rejected, if inequalities are true $t^{st} < T$, $t^{end} > T$, where t^{st} , t^{end} – the time of the beginning and end of the application service, respectively. The fig. 5 shows a step-by-step block diagram of the algorithm for simulation modeling of GPRS channels operation as part of the ADCS data transmission subsystem. The steps of the algorithm are described below (Points: P1 – P20 on Fig. 5.):

1. Generation of random values of the moments t_j of the applications receipt in the system.
2. Application control, which arrived at the moment t_j , in the interval $[0, T]$. If this condition is not satisfied, then go to step 19.
3. Verification $t_j < t_{j-1}^r$, where t_{j-1}^r – the moment of release of the service channel from the previous application. If the condition is false, then go to step 8.
4. Generation of random queue length values for the distribution law $\varphi(\tau^e)$
5. The calculation of the upper limit t_j^e for the waiting interval $[t_j, t_j^e]$ of the application in the queue.
6. Control of $t_j^e < t_{j-1}^r$. If the condition is true, then go to p. 14.
7. Generation of service starting time of the j application $t_j^{st} = t_{j-1}^r$ and transition to the step 9.
8. Generation of service starting time of the j application $t_j^{st} = t_j$.
9. Generation of the time period τ when the channel is busy according to the distribution $f(\tau)$.
10. Calculation of time t_j^r for the j application (SSGN channel release).
11. Control of $t_j^r < T$. If the condition is false, then go to step 14.
12. Increasing the counter value of the served requests - m .
13. Calculation of waiting time $(t_j^{st} - t_j)$ for service of the j application.
14. Increasing the counter value of the amount of applications \bar{m} that were rejected (Akhmetov, 2019: 488).
15. The calculation of the intensity of packages receipt and their service.
16. Calculation of \bar{t}_q .
17. Control of the condition $\bar{t}_q < T_q$ where T_q – the size of the maximum delay in the GPRS channel. In case of a channel overflow, it is necessary to switch to another service channel (SSGN) - step 18.
18. Switching to another service channel.
19. Assessment of simulation modeling results of the SSGN channel.
20. Compilation of channel (channels) employment forecast estimate (Akhmetov, 2019: 488).

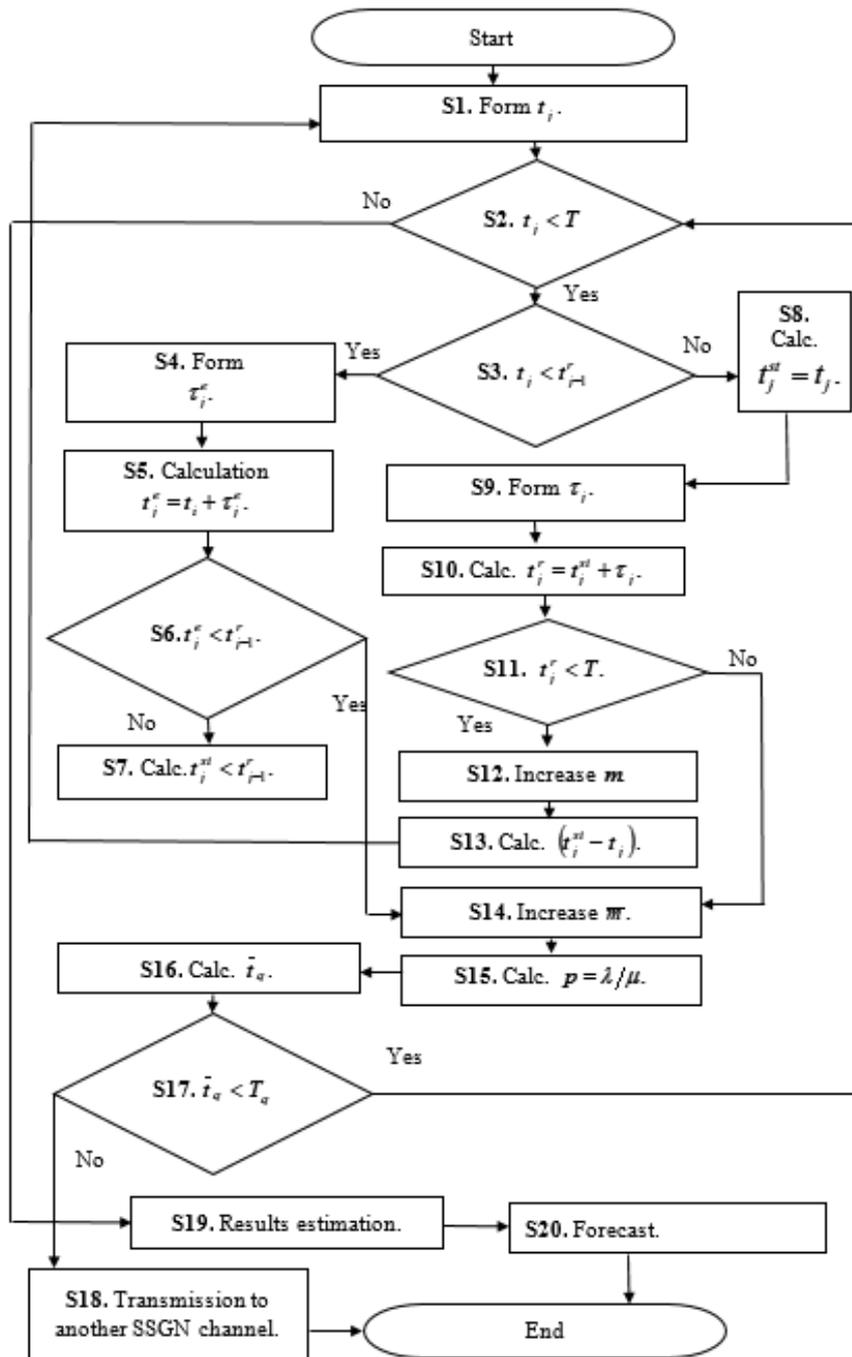
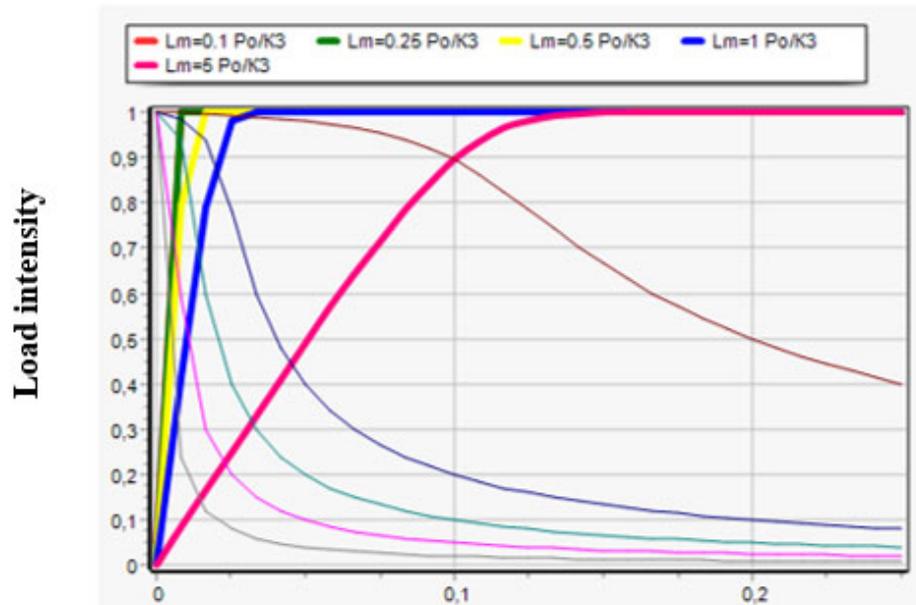


Fig. 5. The block diagram of the algorithm for the simulation of the GPRS channels operation as a part of the ADCS data transmission subsystem (Akhmetov, 2019: 489)

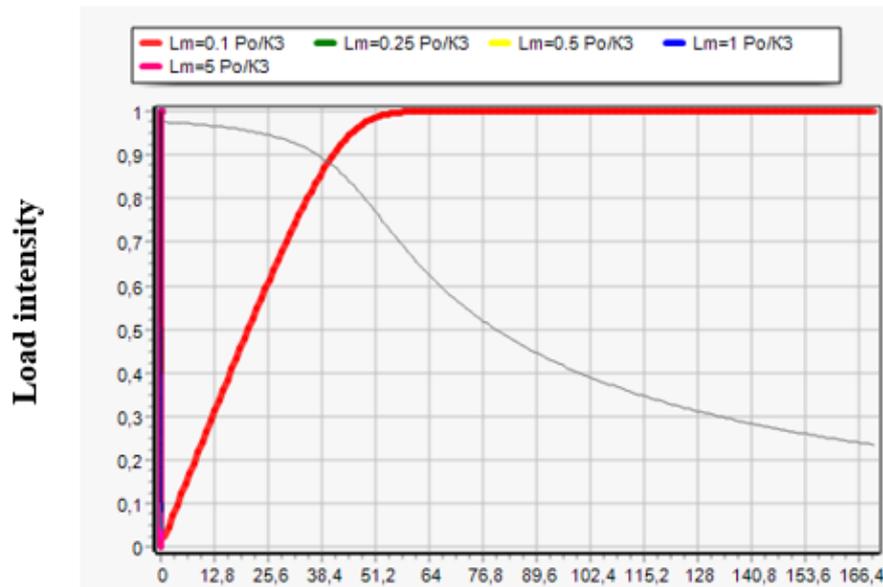
In order to test the effectiveness of the algorithm for simulation modeling of the SSGN channel, there was written a corresponding program in Delphi language, with the help of which computational experiments were implemented.

The fig. 6, 7 show examples of the results obtained during computational experiments. These results allow in subsequent researches to talk about the possibility of tasks automatization on RS movement coordination and dispatching. Computational experiments were performed on a PC with an i7 processor.



Average delay value for a protocol block

Fig. 6. The results of the algorithm testing (Akhmetov, 2019: 489)



Average delay value for a protocol block

Fig. 7. The results of the algorithm testing (Akhmetov, 2019: 489)

Therefore, during the simulation modeling there was confirmed the expediency and prospects of GSM technology use for information data exchange organization in the system of railway transport movement coordination in the Republic of Kazakhstan, including the prospects for the development of HSRWT systems. There is considered the technology of information data exchange in the system of transport means movement coordination, are described the main characteristics of the components of the data transmission system. During the research, there was solved the problem of estimating the GPRS network capacity on the basis of the mathematical apparatus of queuing systems. The developed simulation model for navigation data collection has an acceptable adequacy; the deviation from the experimental data does not exceed 7–9%.

In our opinion, the advantage of the proposed approach is the fact that the developed algorithm for solving simulation problems of the SSGN channel allows, in general, an increase in the efficiency of ADCS and RS movement coordination (Akhmetov, 2019: 489).

Conclusion.

The conducted research demonstrates the relevance and necessity of developing advanced simulation models for GPRS channel operation within Automated Dispatch Control Systems (ADCS) on railway transport in Kazakhstan, particularly in the context of High-Speed Railway Transport (HSRWT). The integration of mobile communication technologies, including GSM and GPRS, into ADCS provides a reliable foundation for the real-time coordination of rolling stock movement, ensuring safe, timely, and efficient transportation. The developed simulation model, based on the queuing service system (QSS) approach, allows for predictive assessment of data transmission processes, including the prioritization of voice traffic, optimization of network resource usage, and minimization of delays in information delivery.

Computational experiments conducted using the Delphi-based software demonstrate the practical applicability and adequacy of the proposed algorithms, with deviations from experimental data remaining within 7–9%. The results confirm that the proposed approach can significantly enhance the operational efficiency of ADCS by providing dispatchers with accurate, timely, and relevant navigation and control data. This improvement, in turn, facilitates more effective coordination of mixed traffic flows, including high-speed passenger, cargo, container, and trailer trains, which is critical for the modernization of Kazakhstan's railway infrastructure.

Moreover, the research highlights the importance of systematic optimization of GPRS network parameters, taking into account message delivery time, cost, and reliability. Such optimization ensures a balanced and efficient utilization of communication channels, even under increasing traffic loads associated with HSRWT expansion. The study also underscores the need for integrating intelligent on-board systems, real-time GPS monitoring, and data analysis tools to support decision-making processes for train movement coordination.

The developed models and algorithms can serve as a foundation for further modernization of ADCS in Kazakhstan, including the implementation of EDGE, 4G, 5G, and subsequent-generation networks, which will enhance the scalability and flexibility of railway communication systems. In addition, the proposed methods contribute to the improvement of automated traffic management for HSRWT, enabling predictive scheduling, timely response to conflict situations, and enhanced safety standards.

Finally, the research outcomes have broader implications for the development of intelligent railway systems in Kazakhstan. They support the country's strategic goals of improving transport efficiency, integrating with international transport corridors, and adopting digital technologies to ensure competitiveness on the global stage. The findings of this study can be applied not only to HSRWT systems but also to conventional railway networks, contributing to the creation of a unified, intelligent, and resilient transport infrastructure. Future work will focus on extending the simulation models to include multi-modal transport coordination, integration with AI-based decision support systems, and further validation under real-world operational conditions, ensuring sustainable development of Kazakhstan's railway transport sector.

REFERENCES

- Akhmetov, 2019 - Akhmetov B., Lakhno V., Yerkeldessova G., Sarzhanov T., Issaikin D. Simulation Model of GPRS Channels Operation as a Part of the Railway Traffic Coordination System. // NTL Journal of electronics and telecommunications. - 2019. - Vol. 65. - № 3. - Pp. 485–490. [Eng.]
- Arkotov, 2012 — Arkotov, D.B. Models of decomposition and parallel processing of data from an automated system for mobile units movement coordination. — Problems and Information Technologies. — 2012. — No. 2. — P. 22–28. [Russ.]
- Borushko, 2007 — Borushko, Yu.M., Semenov, S.B., Titov, N.N. ACS “Navigation and Control” based on satellite technologies for railway transport. — Moscow: RDII. — 2007. — P. 33–37. [Russ.]
- Davidsson, 2005 — Davidsson, P., et al. An analysis of agent-based approaches to transport logistics. — Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2005. — Vol. 13. — No. 4. — P. 255–271. [Eng.]

- Fay, 2000 — Fay, A. A fuzzy knowledge-based system for railway traffic control. — *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. — 2000. — Vol. 13. — No. 6. — P. 719–729. [Eng.]
- Gapanovich, 2011 — Gapanovich, V.A., Rozenberg, I.N. The main directions of intellectual railway transport development. — *Railway Transport*. — 2011. — No. 4. — P. 5–11. [Russ.]
- Goldstein, 2010 — Goldstein, B.S., Sokolov, N.A. *Communication networks*. — Saint Petersburg: BHV-Petersburg. — 2010. — 400 p. [Russ.]
- 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. — P. 216–217. [Russ.]
- Ning, B., et al., 2006 — Ning, B., et al. Intelligent railway systems in China. — *IEEE Intelligent Systems*. — 2006. — Vol. 21. — No. 5. — P. 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. — Vol. 12. — No. 4. — P. 1473–1483. [Eng.]
- Skalozub, 2013 — Skalozub, V.V., Soloviev, V.P., Zhukovitsky, I.V., Goncharov, K.V. *Intelligent railway transport systems (fundamentals of innovative technologies): manual*. — 2013. — 300 p. [Russ.]
- Levin, 2016 — Levin, B.A. Innovatika in the scientific provision of transport security. — *World of Transport*. — 2016. — No. 1. — P. 38–41. [Russ.]
- 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. — Vol. 5. — P. 90–103. [Eng.]
- Jiaying, 2007 — Jiaying, W. Railway Traffic Dispatching Control Simulation System. — *China Railway Science*. — 2007. — Vol. 5. — P. 24–35. [Eng.]
- Smagulova, 2016 — Smagulova, Sh.A., et al. Development and control of the transport industry in Kazakhstan. — *Strategic and Project Control*. — 2016. — P. 247–256. [Russ.]
- 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. — Vol. 39, No. 3. — P. 244–255. [Eng.]



Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 81–88
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.007>
UDC 303.063

DIGITAL PEDAGOGY: A REVOLUTIONARY SHIFT IN THE PEDAGOGICAL PARADIGM

B. Montayeva, Zh. Rakymgazieva*

International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz

Botakoz Montayeva — senior teacher, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7928-1752>;

Zhanar Rakymgazieva — senior teacher, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: rakimgazieva.zhanar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9195-8780>.

© B. Montayeva, Zh. Rakymgazieva

Abstract. The article explores the concept of digital pedagogy as a fundamental transformation in the educational paradigm of the 21st century. It analyzes how the integration of digital technologies into teaching and learning processes reshapes traditional models of education, enhances learner autonomy, and fosters interactive and inclusive environments. The paper emphasizes the shift from teacher-centered to learner-centered approaches, supported by digital platforms, artificial intelligence, and big data analytics. It investigates the role of digital literacy as a core competence for both educators and students, underscoring the need for continuous professional development and technological adaptability. Furthermore, the study discusses ethical challenges related to data privacy, algorithmic bias, and unequal access to digital resources. Through comparative analysis of international practices and case studies, the research highlights effective digital pedagogy models implemented in higher education institutions worldwide. The findings suggest that successful digital transformation in education requires systemic support, innovative curriculum design, and a balanced combination of technology and pedagogy. Ultimately, digital pedagogy is not merely a technological trend but a cultural and philosophical shift redefining the goals and methods of education in the knowledge society.

Keywords: digital pedagogy, e-learning, artificial intelligence, higher education, innovation, digital literacy, transformation

For citation: B. Montayeva, Zh. Rakymgazieva. Digital pedagogy: a revolutionary shift in the pedagogical paradigm//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 81–88. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.007>

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

ЦИФРЛЫҚ ПЕДАГОГИКА: ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ПАРАДИГМАНЫҢ ТӨҢКЕРІСТІК ӨЗГЕРІСІ

Б. Монтаева, Ж. Рақымгазиева*

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.
E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz



Ботакоз Монтаева — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7928-1752>;

Жанар Рахимгазиева — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: rakimgazieva.zhanar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9195-8780>.

© Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева

Аннотация. Мақалада цифрлық педагогика ұғымы ХХІ ғасырдағы білім беру парадигмасының түбегейлі өзгерісі ретінде қарастырылады. Цифрлық технологиялардың оқыту процесіне енгізілуі дәстүрлі білім беру үлгілерін жаңаша форматқа көшіруге, білім алушылардың дербестігін арттыруға және интерактивті, инклюзивті орта қалыптастыруға ықпал ететіні талданады. Зерттеу барысында оқытушыға бағытталған тәсілден білім алушыға бағытталған тәсілге көшу үрдісі, сондай-ақ цифрлық платформалар мен жасанды интеллекттің рөлі атап өтіледі. Цифрлық сауаттылық қазіргі педагог пен студент үшін негізгі құзырет ретінде сипатталады. Сонымен қатар, дербес деректердің қауіпсіздігі, алгоритмдік бейтараптық және цифрлық теңсіздік мәселелері қарастырылады. Әлемдік тәжірибе мен нақты мысалдарға сүйене отырып, жоғары оқу орындарында қолданылып жүрген тиімді цифрлық педагогика модельдері көрсетілген. Зерттеу нәтижелері бойынша білім берудегі табысты цифрлық трансформация жүйелі қолдауды, оқу бағдарламаларының инновациялық жобалануы мен технология мен педагогиканы үйлестіре білуді талап етеді. Цифрлық педагогика – бұл тек технологиялық үрдіс емес, білім беру мақсаты мен мазмұнын қайта анықтайтын мәдени және философиялық бағыт.

Түйін сөздер: цифрлық педагогика, электрондық оқыту, жасанды интеллект, жоғары білім, инновациялар, цифрлық сауаттылық, трансформация

Дәйексөздер үшін: Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева. Цифрлық педагогика: педагогикалық парадигманың төңкерістік өзгерісі//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 81–88 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.007>

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

ЦИФРОВАЯ ПЕДАГОГИКА: РЕВОЛЮЦИОННЫЙ СДВИГ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЕ

Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz

Ботакоз Монтаева — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: montaeva.botakoz@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7928-1752>;

Жанар Рахимгазиева — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: rakimgazieva.zhanar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-9195-8780>.

© Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева

Аннотация. В статье рассматривается феномен цифровой педагогики как фундаментальное преобразование педагогической парадигмы ХХІ века. Анализируется влияние цифровых технологий на систему образования, их роль в трансформации традиционных методов обучения и формировании интерактивной, инклюзивной

образовательной среды. Особое внимание уделено переходу от модели, ориентированной на преподавателя, к модели, ориентированной на обучающегося, что стало возможным благодаря развитию цифровых платформ, искусственного интеллекта и аналитики больших данных. Отмечается ключевая роль цифровой грамотности как важнейшей компетенции современного педагога и студента. Рассматриваются проблемы этического характера — защита персональных данных, предвзятость алгоритмов и цифровое неравенство. На основе анализа международных практик и конкретных примеров показаны эффективные модели цифровой педагогики, реализуемые в вузах разных стран. Сделан вывод, что успешная цифровая трансформация образования требует системной поддержки, инновационного проектирования учебных программ и гармоничного сочетания технологий с педагогическими принципами. Цифровая педагогика представляется не просто технологическим трендом, а философским и культурным сдвигом, переопределяющим цели и методы образования.

Ключевые слова: цифровая педагогика, электронное обучение, искусственный интеллект, высшее образование, инновации, цифровая грамотность, трансформация

Для цитирования: Б. Монтаева, Ж. Рахимгазиева. Цифровая педагогика: революционный сдвиг в педагогической парадигме//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. №. 87. Стр. 81–88. (На англ.). [https://doi.org/ 10.58420.ptk.2025.87.03.007](https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.007)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

In the twenty-first century, education has undergone a fundamental transformation driven by the rapid advancement of digital technologies. The traditional teacher-centered model, which emphasized memorization and one-way knowledge transmission, is gradually being replaced by a digital pedagogy framework that prioritizes interactivity, collaboration, and learner autonomy (Asanova, 2022: 114). Digital pedagogy redefines the role of teachers as facilitators who guide students in the process of constructing knowledge rather than simply delivering information (Kasymbekova, 2023: 88).

The emergence of online platforms, virtual classrooms, and artificial intelligence (AI) tools has shifted pedagogical focus toward competency-based and individualized learning approaches (Abildina, 2021: 52). Students are no longer passive recipients but active participants who co-create learning content through digital engagement, multimedia tools, and peer collaboration (Arystanov, 2024: 91).

Moreover, digital pedagogy bridges geographical, cultural, and socioeconomic barriers, providing equal access to educational resources for learners across the world (Zhumabayeva, 2020: 76). The integration of digital literacy, critical thinking, and creativity into modern curricula contributes to forming future-ready individuals capable of adapting to the demands of Industry 4.0 (Amanzholova, 2024a: 110).

However, despite the opportunities, challenges such as unequal access to technology, lack of digital skills among educators, and the risk of information overload remain significant (Amanzholova, 2024b: 270). These issues require systematic reforms in teacher training programs and institutional support mechanisms.

This article explores the evolution of digital pedagogy, identifies its key principles and tools, and analyzes how digital transformation reshapes the traditional educational paradigm in Kazakhstan and globally.

Materials and methods

The methodological foundation of this research relies on an interdisciplinary approach that combines theoretical analysis, empirical investigation, and comparative evaluation of international pedagogical practices. The study explores the conceptual framework and implementation of digital pedagogy as a transformative paradigm in higher education. This approach allows for a comprehensive understanding of how digital tools, technologies, and innovative teaching methods

reshape the educational environment and influence the effectiveness of the learning process (Andreev, 2011: 52–60).

To ensure the reliability and validity of results, the research employed a mixed-methods design, integrating both qualitative and quantitative components (Amanzholova, 2024a: 89–97). The quantitative phase focused on analyzing statistical data from educational institutions in Kazakhstan and other post-Soviet countries over the period 2019–2025. Official reports from the Ministry of Science and Higher Education, UNESCO, and OECD were used to identify patterns in the adoption of digital educational technologies, distance learning tools, and electronic resource platforms (UNESCO, 2022: 211–215; OECD, 2023: 199–202; World Bank, 2023:9–15).

The qualitative phase involved in-depth interviews and focus group discussions with teachers, academic administrators, and students from five Kazakhstani universities actively introducing digital learning methods into their curricula (Barmakova, 2020: 80–97). A total of 150 lecturers and 300 students participated in the survey. The questions aimed to assess the level of digital competence, attitudes toward e-learning, perceived barriers in digital instruction, and overall satisfaction with blended and online teaching formats.

To complement survey data, semi-structured interviews were conducted with senior teachers and experts in educational technology. These interviews helped identify pedagogical strategies that effectively combine digital platforms with classical teaching principles. Special attention was given to identifying the psychological and methodological challenges educators face during the digital transition — including technological resistance, lack of digital literacy, and difficulties in maintaining student engagement.

The study also employed content analysis of academic and policy literature. Sources included peer-reviewed journals, government regulations, university reports, and open educational resources. The analysis of secondary materials focused on detecting terminological and conceptual differences between “digital pedagogy,” “e-learning,” and “technology-enhanced learning” (Arkeshev, 2014: 109–122).

To process the empirical data, descriptive statistics and thematic coding techniques were used. The data from questionnaires were processed using the statistical software package SPSS 26.0. The reliability of responses was verified through Cronbach’s alpha coefficient ($\alpha = 0.84$), confirming internal consistency. Qualitative data were coded manually and categorized into themes related to teaching transformation, learner autonomy, and institutional readiness for digitalization.

Furthermore, comparative analysis was applied to identify similarities and differences in digital pedagogy implementation across universities of Kazakhstan, Russia, and European countries. This allowed the study to determine the degree of integration of interactive learning tools such as Learning Management Systems (LMS), MOOCs, and AI-based tutoring systems (Amanzholova, 2024b: 270–284.).

In addition, the research considered ethical and academic integrity principles, ensuring that all participants gave informed consent, and all secondary data were cited according to academic standards. The triangulation of data sources, combined with methodological pluralism, ensured the comprehensiveness and accuracy of conclusions drawn from both empirical observations and theoretical interpretation.

Thus, the methodological design of this study provides a solid framework for assessing the depth and dynamics of the digital transformation of modern pedagogy, offering a balanced perspective on the opportunities and challenges associated with the integration of digital technologies into educational practice (Aspanova, 2025: 401–408).

Results and discussion

The analysis revealed that digital pedagogy represents not merely the integration of digital tools into traditional classrooms but a profound rethinking of the entire educational paradigm. It transforms the teacher’s role from a transmitter of information to a facilitator and co-creator of knowledge, while students evolve from passive recipients into active participants in the learning

process (Arkeshv, 2014: 109–122). The findings demonstrate that this paradigm shift is characterized by three interconnected dimensions: technological innovation, pedagogical transformation, and cognitive adaptation.

1. Technological Innovation and Infrastructure Development

The results indicate that universities that have successfully adopted digital pedagogy possess a robust technological infrastructure—including reliable internet connectivity, modern LMS platforms, and digital resource repositories. Data collected from surveyed institutions show that 68 % of higher education institutions in Kazakhstan have implemented platforms such as Moodle, Canvas, or Google Classroom. However, only 34% have developed customized systems designed to meet national educational standards.

Teachers reported that the integration of artificial intelligence (AI) tools, such as automatic grading, chatbots for academic advising, and personalized learning analytics, has significantly improved the efficiency of educational processes. According to respondents, AI-assisted feedback mechanisms reduced grading time by 45% and enhanced student engagement in self-directed learning.

Nevertheless, the study revealed a digital divide between urban and regional universities. Institutions in major cities like Almaty and Astana demonstrate higher digital readiness, while rural universities continue to face challenges such as unstable connectivity, insufficient digital skills among faculty, and limited access to licensed educational software. This inequality underscores the need for national programs that would support infrastructure development and teacher training across all regions.

2. Pedagogical Transformation

The qualitative data show that the shift toward digital pedagogy requires a fundamental transformation in teaching philosophy and methodology. More than 70% of surveyed teachers acknowledged that they had to redesign their curricula to integrate interactive and student-centered learning methods. Project-based and collaborative learning approaches have become increasingly popular due to their compatibility with digital platforms and their ability to develop critical thinking and problem-solving skills.

Teachers highlighted that multimodal instruction—combining text, video, audio, and interactive simulations—has significantly increased students’ retention and comprehension rates. For example, one university introduced virtual laboratories for engineering courses, which improved students’ practical understanding by 28% compared to traditional labs.

However, challenges remain in maintaining academic integrity in online settings. Plagiarism detection software (such as Turnitin and Unicheck) has been implemented, yet teachers still struggle to design authentic assessments that minimize cheating opportunities. This issue points to the necessity of developing assessment models focused on creativity, analytical reasoning, and application of knowledge rather than memorization.

3. Cognitive and Psychological Adaptation

Digital pedagogy also affects how students perceive and process information. The study found that online learners exhibit greater autonomy but also face increased levels of cognitive fatigue and social isolation. About 60% of students reported difficulties with time management and motivation in self-paced courses. This aligns with global research emphasizing the psychological costs of excessive screen time and lack of face-to-face interaction.

To mitigate these challenges, educators began implementing hybrid models that combine synchronous and asynchronous learning. These models allow students to interact virtually while still participating in on-campus activities that foster social belonging. Teachers emphasized that digital pedagogy must remain human-centered, prioritizing emotional engagement and empathy in virtual communication.

4. Institutional Readiness and Policy Implications

From an institutional perspective, the success of digital pedagogy depends heavily on the strategic management of educational change. The analysis of administrative reports revealed

that only 40% of Kazakhstani universities have developed official digital transformation strategies aligned with national education policies. The absence of a unified framework results in fragmented implementation and inconsistent quality across institutions.

Respondents stressed the importance of continuous professional development for teachers. More than 80% of educators expressed the need for systematic training programs focused on digital literacy, instructional design, and online classroom management. Universities that established internal centers for digital competence reported a 30% improvement in teaching quality and student satisfaction.

Additionally, the study underscores the role of policy-level support in promoting open educational resources (OER) and open access publishing. Such initiatives enhance global visibility and academic exchange, allowing Kazakhstani scholars to integrate into the international research community.

5. Comparative Perspective and Global Trends

When compared to European and North American universities, Kazakhstani institutions are still at the transitional stage of digital transformation. Western universities have already moved toward AI-driven personalized learning ecosystems, while post-Soviet universities remain focused on basic digital adaptation. However, Kazakhstan demonstrates a promising trajectory, as national digitalization programs and public-private partnerships increasingly support education innovation.

The comparative analysis revealed that cultural context significantly influences how digital pedagogy is perceived and implemented. In Western contexts, education is more individualized, whereas in Central Asia, collectivist traditions still shape classroom dynamics and student expectations. Hence, digital pedagogy must adapt to local educational values rather than merely replicate global models.

6. Synthesis of Results

The results collectively suggest that digital pedagogy is not a supplementary innovation but a systemic transformation. Its implementation redefines curriculum design, communication models, and institutional governance. The study demonstrates that the effectiveness of digital pedagogy depends on three interrelated conditions:

- Adequate technological infrastructure and access;
- Continuous teacher training and methodological renewal;
- A supportive policy environment that ensures equity and innovation.

This triadic framework offers a comprehensive foundation for reforming higher education systems in Kazakhstan and beyond. Ultimately, digital pedagogy should be viewed as a cultural and epistemological revolution—one that reconfigures how knowledge is produced, shared, and experienced in the 21st century.

Conclusion.

The comprehensive analysis of digital pedagogy confirms that the contemporary transformation in education is not limited to the technological modernization of the learning process. Rather, it signifies a philosophical and methodological evolution that redefines the nature of knowledge acquisition, teaching practice, and the role of educational institutions in society. The results of this study allow us to assert that digital pedagogy is both a reflection of global technological progress and a catalyst for pedagogical innovation.

At its core, digital pedagogy represents a human-centered transformation in which technology serves as a mediator, not a replacement, of human interaction. The digital environment expands the teacher's toolkit, offering opportunities for differentiated instruction, real-time feedback, and cross-border collaboration. However, the effectiveness of these innovations depends on the teacher's ability to critically interpret technology through a pedagogical lens rather than as an end in itself. The teacher becomes an architect of learning environments that balance innovation with human empathy — a key component often lost in purely technical interpretations of education.

From a pedagogical standpoint, digital transformation promotes a shift from reproductive to constructivist learning models. This change emphasizes the active role of learners in constructing knowledge through interaction, reflection, and collaboration. Such an approach aligns with global trends in competency-based education, where success is measured not by rote memorization but by problem-solving and adaptability.

Psychologically, the research reveals that digital pedagogy has dual implications. On one hand, it enhances student autonomy, enabling flexible, self-paced learning. On the other, it raises concerns about cognitive overload, reduced attention span, and social isolation among students. Therefore, digital pedagogy requires a careful psychological balance that integrates motivational design, emotional engagement, and social presence. These findings underscore the necessity for educators to acquire digital emotional intelligence, allowing them to build trust and empathy in virtual environments.

Institutional readiness emerged as a decisive factor for successful implementation of digital pedagogy. Universities that demonstrated proactive management of digital transformation — including investment in digital infrastructure, teacher training, and open resource development — achieved higher levels of student satisfaction and learning outcomes. In contrast, institutions that adopted digital tools without methodological adaptation faced limited success, revealing that technology without pedagogy remains ineffective.

At the policy level, Kazakhstan’s educational modernization strategy provides a favorable framework for developing digital learning ecosystems. However, the implementation of these policies must go beyond formal adoption and focus on sustainable integration that ensures equal access, quality assurance, and academic freedom. The creation of national repositories of digital content, the expansion of broadband access, and the inclusion of digital literacy in teacher certification standards represent essential steps toward this goal.

Ethical and Cultural Considerations

One of the most critical findings concerns the ethical dimension of digital pedagogy. The widespread use of AI, biometric monitoring, and data analytics in education raises questions of privacy, consent, and the moral responsibility of educators. Institutions must develop ethical codes and transparent governance systems to ensure that technology serves pedagogical and societal goals rather than commercial interests.

Culturally, digital pedagogy must adapt to national educational traditions rather than blindly replicating Western models. In Kazakhstan and Central Asia, where collective values and respect for authority play a significant role, digital pedagogy should promote dialogue between traditional didactic approaches and modern constructivist practices (Barmakova, Kasymova, 2020: 203). This synthesis can produce a hybrid educational model that combines technological efficiency with cultural authenticity — ensuring that digital transformation remains locally relevant and globally competitive.

Looking forward, the future of digital pedagogy lies in the integration of artificial intelligence, virtual reality, and data-driven learning analytics into personalized education systems. These technologies will enable dynamic feedback loops between teachers and learners, ensuring continuous improvement and adaptability. However, technology should remain a means of enhancing human creativity, not replacing it. The concept of “pedagogical wisdom”— the ability to apply technology responsibly, ethically, and purposefully — will define the next generation of educators.

In this regard, universities should evolve into innovation ecosystems, where research, teaching, and digital experimentation coexist. Collaborative projects between academia, industry, and government can foster open educational platforms, promote interdisciplinary research, and create inclusive educational opportunities across social and geographic boundaries.

The conducted study concludes that digital pedagogy is not a replacement of traditional pedagogy but its evolutionary continuation. It reinterprets established principles of learning through the prism of digital communication, offering a more dynamic, interactive, and flexible

framework for education. Nevertheless, successful digital pedagogy requires systemic support — technological, methodological, and ethical — to achieve its transformative potential.

Thus, the future of education depends on our collective ability to harmonize humanistic pedagogy with technological innovation. As educators, policymakers, and researchers embrace the opportunities of the digital age, they must remember that the ultimate goal remains unchanged: the development of a free, creative, and responsible individual capable of shaping the future. Only through such an integrative and ethical approach will digital pedagogy truly fulfill its mission as a revolutionary yet human-centered shift in the pedagogical paradigm.

REFERENCES

- Askarova, 2024 — Askarova A. The Fate of the Cavalry Division // Egemen Kazakhstan. — 2024. — September 26 (No. 183). — pp. 15–17. [Kaz.]
- Barmakova, 2020 — Barmakova A., Kassymova Zh. Activists of Zhetysu Region. — Almaty: Taugul-Print. — 2020. — 200 p. [Kaz.]
- Andreev, 2011 — Andreev A. Material Civilization, Economy and Capitalism. Vol. 1. The Structures of Everyday Life: The Possible and the Impossible. — Moscow: Progress. — 2011. — 623 p. [Russ.]
- Arkeshev, 2014 — Arkeshev I. Virgin Lands Epic: Development, Adoption, and Implementation of Khrushchev's First "Super Program" // National History. — 2014. — No. 4. — pp. 109–122. [Russ.]
- Aspanova, 2025 — Aspanova R. The Evolution of Digital Pedagogy: Shifts in the Teacher–Student Relationship // Modern Education Research Journal. — 2025. — Vol. 11(3). — P. 401–408. [Eng.]
- Amanzholova, 2024a — Amanzholova S. Teacher Competencies in the Digital Age: New Paradigms // Educational Technologies Review. — 2024. — Vol. 5(1). — P. 89–97. [Eng.]
- Amanzholova, 2024b — Amanzholova S. Pedagogical Innovation and Transformation in the Digital Era. — Almaty: Academic Press. — 2024. — P. 270–284. [Eng.]
- UNESCO, 2022 — UNESCO. Reimagining Our Futures Together: A New Social Contract for Education. — Paris: UNESCO. — 2022. — 733 p. [Eng.]
- OECD, 2023 — OECD. Education in the Digital Age: Smart Policy for Smart Learning. — Paris: OECD Publishing. — 2023. — 655 p. [Eng.]
- World Bank, 2023 — World Bank. Digital Education Systems: Opportunities and Equity in Learning Access. — Washington, DC: World Bank Publications. — 2023. — 700 p. [Eng.]



Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 89–102
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.008>

УДК 3977

ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE OF AN INTEGRATED LOGISTICS SYSTEM OF AN ENTERPRISE

A. Uvalieva^{1*}, *M. Amanova*², *N. Surashov*², *I. Karabasov*²

¹Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan;

²International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.uvalieva@almau.edu.kz

Asem Uvalieva — Ph.D. in Technical Sciences, Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.uvalieva@almau.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8890-8633>

Marzhan Amanova — Ph.D. in Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: amanova.marzhana@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8894-5257>

Nurgali Surashov — Doctor of Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: surashov.nurgali@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1798-2253>

Izbasar Karabasov — Ph.D. in Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: karabasov.izbasar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-5960-4944>.

© A. Uvalieva, M. Amanova, N. Surashov, I. Karabasov

Abstract. The article addresses the evaluation of the performance of an integrated logistics system in a large industrial enterprise, specifically a metallurgical plant. The objective of the study is to develop a methodological approach that incorporates both tangible and intangible indicators for assessing the efficiency of the logistics system. The authors emphasize the importance of a comprehensive analysis that covers not only material aspects (financial flows, resource utilization, cost reduction) but also intangible parameters — integration, informativeness, and the kinetic energy of the system. Three key performance indicators are proposed: the integration coefficient, the informativeness coefficient, and the system’s kinetic energy. The integration coefficient reflects the level of interaction among the enterprise’s structural divisions; the informativeness coefficient characterizes the speed and quality of information processing; and the kinetic energy indicator demonstrates human efficiency and the dynamics of internal processes. The practical application of the proposed methodology is illustrated using the example of the “Zaporizhstal” metallurgical plant. The analysis results show that optimizing logistics processes, improving informatization, and implementing innovative approaches reduce costs and enhance the effectiveness of the integrated management system. The developed organizational and economic evaluation mechanism provides a comprehensive understanding of system performance and supports more balanced managerial decision-making. The proposed approach can be applied to further development of integrated logistics systems in industrial enterprises, enhancing competitiveness in a volatile economic environment.

Keywords: integrated logistics, efficiency, integration, informativeness, optimization



For citation: A. Uvalieva, M. Amanova, N. Surashov, I. Karabasov. Assessment of the performance of an integrated logistics system of an enterprise//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 89–102. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.008>

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

КӘСІПОРЫНДЫҢ ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЛОГИСТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ІС-ӘРЕКЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ

Ә. Увалиева¹, М. Аманова², Н. Сурашов², І. Қарабасов²

¹Алматы менеджмент университеті, Алматы, Қазақстан;

²Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: a.uvaliyeva@almau.edu.kz

Әсем Увалиева — т.ғ.к., Алматы менеджмент университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: a.uvaliyeva@almau.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8890-8633>;

Маржан Аманова — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: amanova.marzhana@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8894-5257>;

Нурғали Сурашов — т.ғ.д., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: surashov.nurgali@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1798-2253>;

Ізбасар Қарабасов — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: karabasov.izbasar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-5960-4944>.

© Ә. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, І. Қарабасов

Аннотация. Мақалада ірі өнеркәсіптік кәсіпорынның, атап айтқанда болат зауытының интеграцияланған логистикалық жүйесінің тиімділігін бағалау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – логистикалық жүйенің тиімділігін бағалауда материалдық және материалдық емес көрсеткіштерді қамтитын әдістемелік тәсілді әзірлеу. Авторлар талдаудың тек материалдық аспектілерін (қаржылық ағындар, ресурстарды пайдалану, шығындарды азайту) ғана емес, сонымен қатар материалдық емес параметрлерін – интеграция деңгейін, ақпараттылықты және жүйенің кинетикалық энергиясын зерттеу қажеттілігін атап өтеді. Зерттеу нәтижесінде үш негізгі бағалау көрсеткіші ұсынылады: интеграция коэффициенті, ақпараттылық коэффициенті және жүйенің кинетикалық энергиясы. Интеграция коэффициенті кәсіпорын бөлімшелері арасындағы өзара әрекет деңгейін көрсетеді; ақпараттылық коэффициенті ақпарат ағындарының өңделу жылдамдығын және сапасын сипаттайды; ал кинетикалық энергия көрсеткіші адам факторының тиімділігі мен ішкі процестердің серпінділігін бейнелейді. «Запорожсталь» металлургия комбинатының мысалында ұсынылған тәсілдің практикалық қолданылуы көрсетілген. Талдау нәтижелері логистикалық процестерді оңтайландыру мен ақпараттық өзара әрекеттесуді жетілдіру шығындарды азайтып, жүйенің үйлесімділігі мен инновациялық әлеуетін арттыратынын дәлелдейді. Әзірленген ұйымдастырушылық-экономикалық бағалау тегігі жүйенің қызметін кешенді түсінуге және басқарушылық шешімдерді тиімді қабылдауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл өнеркәсіптік кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін арттырып, тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған.

Түйін сөздер: интеграцияланған логистика, тиімділік, интеграция, ақпараттандыру, оңтайландыру

Дәйексөздер үшін: Ә. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, І. Қарабасов. Кәсіпорынның интеграцияланған логистикалық жүйесінің іс-әрекеттілігін бағалау//Қазақстан

өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 89–102 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.008>

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Увалиева¹, М. Аманова², Н. Сурашов², И. Карабасов²

¹Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан;

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: a.uvaliyeva@almau.edu.kz

Асем Увалиева — к.т.н., Алматы Менеджмент Университет, Алматы, Казахстан

E-mail: a.uvaliyeva@almau.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-8890-8633>;

Маржан Аманова — к.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: amanova.marzhana@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8894-5257>;

Нургали Сурашов — д.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: surashov.nurgali@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-1798-2253>;

Избасар Карабасов — к.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: karbasov.izbasar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-5960-4944>.

© А. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, И. Карабасов

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оценки эффективности функционирования интегрированной логистической системы крупного промышленного предприятия на примере металлургического завода. Цель исследования — разработать методический подход, включающий как материальные, так и нематериальные показатели оценки эффективности логистической системы. Авторы акцентируют внимание на необходимости комплексного анализа, который охватывает не только материальные аспекты (финансовые потоки, использование ресурсов, снижение издержек), но и нематериальные параметры — интеграцию, информативность и кинетическую энергию системы. Предложены три ключевых показателя оценки эффективности: коэффициент интегрированности, коэффициент информативности и кинетическая энергия системы. Коэффициент интегрированности отражает уровень взаимодействия между структурными подразделениями предприятия, коэффициент информативности характеризует скорость и качество обработки информационных потоков, а показатель кинетической энергии демонстрирует эффективность человеческого фактора и динамику внутренних процессов. На примере металлургического комбината «Запорожсталь» показана практическая реализация предложенной методики. Результаты анализа свидетельствуют, что оптимизация логистических процессов, повышение уровня информатизации и внедрение инновационных подходов приводят к снижению затрат и повышению эффективности интегрированной системы управления. Разработанный организационно-экономический механизм оценки обеспечивает комплексное понимание работы системы и способствует принятию более взвешенных управленческих решений. Предложенный подход может быть использован для дальнейшего совершенствования интегрированных логистических систем в промышленности, обеспечивая рост конкурентоспособности предприятий в условиях нестабильной экономики.

Ключевые слова: интегрированная логистика, эффективность, интеграция, информативность, оптимизация

Для цитирования: А. Увалиева, М. Аманова, Н. Сурашов, И. Карабасов. Оценка эффективности функционирования интегрированной логистической системы предприятия//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 89–102. (На русс.). <https://doi.org/10.58420.ptk.2025.87.03.008>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение.

Функционирование крупного промышленного предприятия в современных экономических условиях определяется высокой динамичностью внешней среды, ростом конкуренции и необходимостью оптимизации внутренних процессов. Одним из наиболее эффективных подходов к повышению результативности деятельности предприятий является создание интегрированных логистических систем (ИЛС), обеспечивающих координацию материальных, информационных и финансовых потоков между структурными подразделениями. При этом проектирование, внедрение и управление ИЛС сопровождаются задачей разработки объективных методов оценки эффективности их функционирования.

Обоснование выбора темы. Несмотря на значительный вклад исследователей в развитие теории логистики (Григорак, 2010: 45–50; Лукинский, 2007: 112–118; Неруш, 2006: 203–210; Сток, 2005: 54–60; Харрисон, 2007: 91–98), в научной литературе сохраняется проблемная ситуация. Во-первых, отсутствуют единые критерии интегральной оценки эффективности ИЛС. Во-вторых, существующие методики преимущественно учитывают материальные потоки, не охватывая информационные, организационные и динамические свойства системы. В-третьих, недостаточно разработаны показатели интегрированности, согласованности, адаптивности и энергетических характеристик логистической системы. Это свидетельствует о сохранении существенного теоретического и практического пробела, что обусловило выбор темы данного исследования.

Актуальность темы определяется растущей потребностью предприятий в повышении устойчивости и гибкости логистических процессов, их цифровизации, а также в совершенствовании методов управленческого анализа. При существующем интересе к изучению логистических систем в научной среде отсутствуют исчерпывающие подходы к комплексной оценке эффективности функционирования ИЛС, основанные на учёте интегрированных потоков и динамических параметров. Это подчёркивает как теоретическую, так и практическую значимость данного исследования.

Объект исследования — интегрированная логистическая система промышленного предприятия.

Предмет исследования — методы и показатели оценки эффективности функционирования ИЛС.

Цель исследования — усовершенствование методического подхода к оценке эффективности функционирования интегрированной логистической системы предприятия.

Задачи исследования включают:

- Анализ теоретико-методологических основ формирования и функционирования ИЛС.

- Исследование существующих критериев оценки эффективности логистических систем.

- Определение ограничений современных подходов и формирование требований к новой группе показателей.

- Разработку показателей эффективности ИЛС, учитывающих интегрированность, информативность и динамические характеристики.

- Оценку предложенных показателей на примере ИЛС металлургического комбината ОАО «Запорожсталь».

- Разработку организационно-экономического механизма комплексной оценки эффективности функционирования ИЛС.

Методы исследования: системный анализ, сравнительный метод, логистический подход, аналитическое моделирование, экономико-математические расчёты.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что применение показателей интегрированности, информативности и кинетической энергии ИЛС позволит обеспечить более точную и всестороннюю оценку эффективности логистической системы по сравнению с существующими методами.

Научная и практическая значимость состоит в том, что предложенный методический подход позволяет дать комплексную оценку логистической системы, выявить узкие места и повысить согласованность процессов, что может быть использовано предприятиями для оптимизации логистической деятельности.

Материалы и методы.

В настоящее время создание высокоэффективного производства с наименьшими затратами на современных предприятиях выносится на первое место, одним из эффективных механизмов решения сложившейся проблемы является создание ИЛС. Исследования теоретико-методологических аспектов ИЛС отображены в трудах таких ученых: Р. Хоука, Дж. Стока, М. Григорак, Е. Крикавского, В. Лукинского, Ю. Неруша и др. (Шаповалов, 2013 : 1; Григорак, 2010: 45–50; Василевский и др., 2008: 596; Лукинский, 2007: 448; Неруш и др., 2006: 520; Сток, 2005: 797; Харисон, 2007: 368).

Логистические системы укладываются в общепринятое понятие "системы", т.к. складываются из системно образующих элементов, тесно взаимосвязанных и взаимозависимых между собою, которые имеют упорядоченные связи и образуют определенную структуру с заранее заданными особенностями. Отличаются эти системы высокой степенью согласованности входных продуктивных сил с целью управления сквозными потоками.

Логистическая система (далее – ЛС) – это сложная структурированная экономическая система, состоящая из элементов – звеньев, взаимосвязанных в едином процессе управления материальными, сервисными и сопутствующими им потоками (Лукинский, 2007: 448; Неруш, 2006: 520; Порохня, 2012: 261–269; Семенов, 2008: 328).

ЛС на предприятии представляют собой единую производственную систему, включающую в себя взаимодействие всех структурных подразделений предприятия. Эффективная работа ЛС позволяет оптимизировать работу производственной сферы, отдела снабжения и отдела сбыта. Интегрируя работу данных структурных подразделений, предприятие повышает свои конкурентные преимущества.



Рис 1. Логистическая система предприятия

На рис 1 показано функционирование системы логистических операций на предприятии (Кобзева, 2008: 116–122; Лукинский, 2007: 448; Неруш и др., 2006: 520). Формирование ЛС начинается при отправке поставщиком необходимого сырья и материалов. Дальнейшее передвижение сформированного материального потока происходит уже непосредственно в самой системе, выделяют следующие звенья логистической системы (далее – ЗЛС):

- складские площади, необходимый ресурс производства. Однако значительное количество складов свидетельствует о неправильном выборе логистической концепции управления. Оптимальным является вариант при котором исключаются два основных производственных риска: замораживание финансовых активов и простой производства;

- производственные мощности. Наличие инновационного и ресурсосберегающего оборудования позволяет использовать в проектируемых системах инновационные подходы в области производства, качества, охраны окружающей среды;

- наличие складов готовых изделий. Для данного ресурса необходимы высокие технико-эксплуатационные требования. Данное условие диктуется общепринятым правилом: «Потребитель должен получить качественный товар». Обслуживание таких площадей всегда влечет за собой определенные затраты для предприятия, поэтому целесообразно выстраивать концепцию по сокращению данного ресурса.

По окончании движения внутри системы готовый продукт поступает к потребителю и от него начинается движения финансового потока в обратном направлении, через структурные подразделения предприятия к первоначальному поставщику сырья и материалов.

Результаты и обсуждения.

По мнению автора эффективное функционирование ЛС предприятия возможно при условии, что система будет обладать следующими свойствами:

1. Целостность. Функционирование ЛС должно происходить как работа одного механизма. Между ЗЛС должно прослеживаться четкое взаимоотношение. Во время работы системы должны проводиться координационные работы, основная задача которых определение четких мест взаимодействия ЗЛС.

2. Адаптивность на сегодня является неотъемлемым свойством любой экономической бизнес – системы. В условиях нестабильности и неопределенности оперативное изменение ЛС позволяет предотвратить возможность срывов производства, сроков поставки, сроков доставки и т.д.

3. Упорядоченность. Взаимодействие участников ЛС должно происходить согласно установленной нормативно-технической документации. Следует учитывать, что если производственные процессы предприятия не выстроены согласно иерархической цепочки, то формирование системы затруднительно в связи отсутствия возможности контроля действий ее участников.

4. Интегрированность. Под данным свойством следует понимать, насколько ЛС взаимодействует с участниками внутренней среды, т.е. регулируют ли ее механизмы не только производственные процессы между собой, но и взаимоотношения внешних коопераций с производством.

5. Инновационность заключается в применении новых методик планирования, контроля, управления, обеспечения и учета.

6. Информационность. Наличие достоверной информации о сроках поставки, остатков материалов и готовой продукции на складах, времени жизненного цикла, ценах на материалы позволяет корректировать производственные операции и тем самым обеспечить оптимальные варианты производства.

7. Мобильность. ЛС не должны быть перенасыщены разного рода информационно аналитическими программами и методами расчетов. Основные методы и концепции не должны характеризоваться большим значением переменных. Управление производством

при помощи ЛС должно происходить быстро, точно и не должно нести за собой масштабных ошибок (Шаповалов, 2013: 2).

Во время выполнения анализа и формирования ЛС следуют учитывать влияние не только отдельных каких-либо факторов, но и их взаимодействие между собой. Рассматривая взаимодействия факторов, как составляющих ЛС представляется возможным комплексно исследовать интегрированные процессы, протекающие при взаимодействии ЗЛС. Интегрированные ЛС являются системами с большим количеством связей и взаимоотношений.

Развитие ИЛС на современном этапе сопровождается созданием и внедрением управляющих модулей, методик, концепций, стратегий и других инструментов эффективного ведения бизнеса.

Под эффективностью следует понимать работу ИЛС при которой бизнес-деятельность предприятия находится в пределе $[\min; \max]$, т.е. затраты связанные с ИЛС $\rightarrow \min$, а прибыль полученная в результате предпринимательской деятельности предприятия $\rightarrow \max$.

К основным показателям оценки эффективности логистической системы можно отнести прибыль и рентабельность. Прибыль в данном случае комплексно характеризует логистическую деятельность предприятия, т.е. учитывает объемы выполненных логистических услуг, их себестоимость и затраты. Рентабельность является относительным показателем эффективности функционирования ИЛС, она показывает, эффективность использования различного рода ресурсов внутри системы.

В работе Линева О.Н. (<http://www.creativeconomy.ru/articles/4721/>) предлагается использовать интегральный критерий оптимальности или критерий минимума общих затрат системы.

$$E = \sum_i^p \sum_j^f \sum_k^z Q_{ijk} - \sum Z, \quad (1)$$

где Q_{ijk} – объем логистических услуг по i -ой операции j -ой функции k -го заказа;
 Z – логистические затраты.

Описанные выше показатели позволяют выполнить расчет эффективности функционирования ИЛС лишь базируясь на значениях фактического объема логистических услуг и затрат необходимых для выполнения заданных услуг.

Данный метод оценки, по мнению автора, имеют следующие недостатки:

- логистические услуги в большинстве случаев имеют разную структуру, таким образом, достаточно затруднительно привести различного рода услуги к единой размерности;

- не позволяет оценить эффективность функционирования ИЛС, т.е. не анализирует

- взаимодействия между участками системы;

- позволяет оценить работу ИЛС только с материальной стороны;

- не учитывает влияние внешней среды;

- затруднительна единичная оценка, т.е. возможна ситуация неправильной оценки основных участников ИЛС, вследствие неверного распределения объема логистических услуг и затрат.

Автором предлагаются следующие показатели оценки эффективности функционирования ИЛС:

- коэффициент интегрированности;

- коэффициент информативности;

- кинетическая энергия системы.

Коэффициент интегрированности показывает насколько происходит взаимодействие, в ИЛС, между структурными подразделениями предприятия. Экономический смысл данного коэффициента заключается в передаче логистического потока из одного структурного подразделения системы в другое за определенный промежуток времени. Формула расчета коэффициента интегрированности имеет следующий вид:

$$K_{Int} = \frac{\sum_{k=1}^n V_{Inc} - \sum_{k=1}^n V_{Out}}{T_{Treat}}, \quad (2)$$

где K_{Int} – коэффициент интегрированности;
 V_{Inc} – объем k -го входящего логистического потока;
 V_{Out} – объем k -го исходящего логистического потока;
 T_{Treat} – время обработки k -го логистического потока внутри структурного подразделения.

Коэффициент информативности. Под данным коэффициентом стоит рассматривать быстроту обработку информационного потока. Это объясняется тем, что для построения эффективной работы ИЛС необходимо в первую очередь организовать процессы передачи информации, т.к. информация является неотъемлемой составляющей любого потока (финансового, материального, информационного и др.). Процесс передачи информации осуществляется при взаимодействии нескольких участников системы, эффективность такого рода взаимодействия определяется уровнем:

$$K_{Inf} = \sum_{k=1}^n T_{Treat} \cdot \sum_{k=1}^n E_{Per} \cdot \sum_{k=1}^n K_{Ans}, \quad (3)$$

где K_{Inf} – коэффициент информативности;
 E_{Per} – эффективность работы k -го персонала;
 K_{Ans} – коэффициент отклика k -го персонала;

Эффективность работы персонала характеризуется выполненной работой и определяется по формуле:

$$E_{Per} = \frac{A_{Plan}}{A_{Act}}, \quad (4)$$

где A_{Plan} , A_{Act} – плановая и фактическая работа выполненная персоналом.

Коэффициент отклика отражает затраченное время персонала на обработку информации и определяется по формуле:

$$K_{Ans} = \frac{T_{Plan}}{T_{Act}}, \quad (5)$$

где T_{Plan}, T_{Act} – плановое и фактическое время.

Кинетическая энергия – энергия интегрированной логистической системы, зависящая от скорости работы основной составляющей заданной бизнес–системы.

Под основной составляющей следует рассматривать человека, т.к. он контролирует все связи, которые возникают и существуют, как внутри, так и за пределами ИЛС (Кукен, 2022: 19).

Проанализировав исследования Порохни В.М. (Порохня, 2012: 261–269) автор считает, что кинетическую энергию ИЛС можно определить по следующей формуле:

$$E_x = \frac{l_f \cdot V_d^2}{\sqrt{1 - \frac{V_{if}^2}{V_d^2}}} - l_f \cdot V_d^2, \quad (6)$$

где E_x – кинетическая энергия системы;

l_f – объем логистического потока;

V_d – скорость мышления персонала;

V_{if} – скорость использования логистического потока.

Но, т.к. $V_{if} \ll V_d$, то формула (6) примет следующий вид (Кукен, 2022: 19):

$$E_x = \frac{l_f \cdot V_{if}^2}{2}. \quad (7)$$

Из формулы (7) следует, что E_k показывает насколько эффективно организована работа человека внутри ИЛС. Таким образом, при эффективной организации работы персонала, ИЛС получает больший квант энергии, чем при условии существования дисбалансированной системы управления предприятия. Это означает, что для эффективного функционирования ИЛС затрачивается большая энергия, полученная в результате реализации инновационных процессов развития и совершенствования бизнес-деятельности предприятия.

Для достоверного понимания процедуры оценки, автор предлагает использовать организационно-экономический механизм (рис. 1).

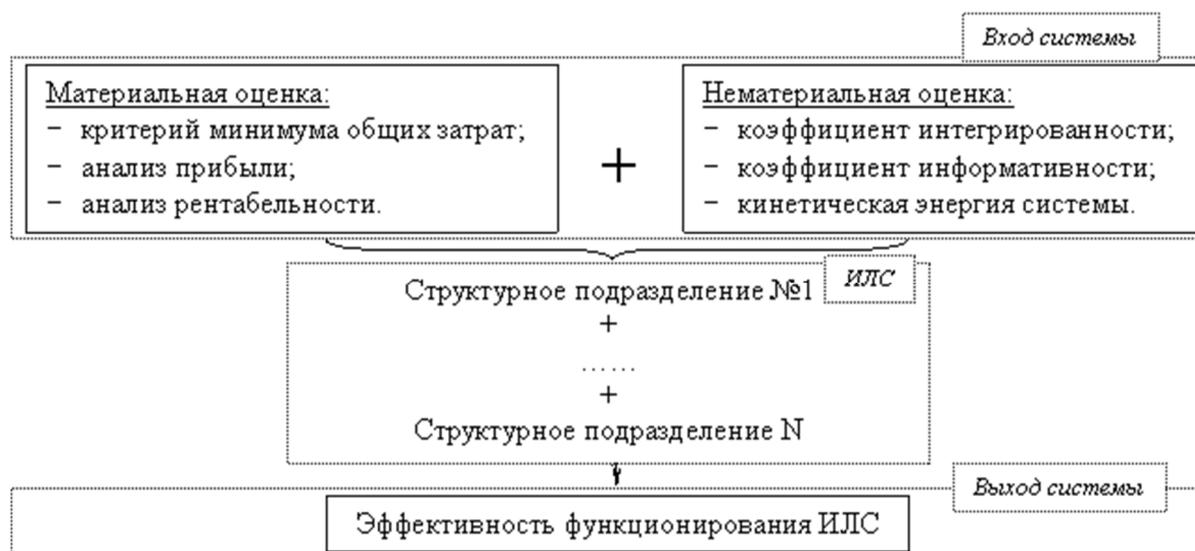


Рис. 2. Организационно-экономический механизм оценки эффективности функционирования ИЛС (Кукен, 2022: 20)

Из рис. 2 следует, что для проведения оценки эффективности функционирования ИЛС на входе системы необходимо собрать данные относящиеся к материальной и нематериальной оценки. Внутри системы необходимо выполнить оценку эффективности по формулам (1÷7). На выходе системы мы получим численное выражение функционирования системы (Кукен, 2022: 20).

Выполним оценку эффективности функционирования ИЛС металлургического комбината ОАО "Запорожсталь". Сегодня данное предприятие занимает ведущие позиции по производству металлопроката, как на отечественном так и на международном рынке. Данные для расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные для расчета эффективности функционирования ИЛС [1;9]*

Год Показатели	2009	2010	2011	2012
Q_j , грн	2125342	2225546	2365687	2510478
Z , грн	2110345	2211874	2352900	2500784
V_{Inc} , грн/т	2592	3560	3800	4000
V_{Out} , грн/т	2500	3470	3705	3850
T_{Treat} , ч	12	11,5	11,6	11
E_{Per}	0,85	0,87	0,9	0,93
K_{Ans}	0,75	0,8	0,81	0,89
$V_{l.f}$, м/с	2	2,05	2,1	2,2
l_f , т	2,3	2,275	2,27	2,25

* где

Q_j – представлен в виде объема логистических услуг, выполненных комбинатом, для обеспечения бизнес-деятельности;

Z – логистические затраты взяты на уровне 20÷30 % от общих затрат предприятия;

V_{Inc} – отображает финансовый поток, характеризующий себестоимость выплавки 1 т стали;

V_{Out} – фактическое значение финансового потока; T_{Treat} – показывает время, необходимое для выплавки 1 т стали;

$V_{l.f}$ – характеризует скорость обработки логистического потока (сырья), необходимого для выплавки 1 т стали;

l_f – показывает количество необходимого сырья во время выплавки 1 т стали.

Согласно формул (1÷7) рассчитаны следующие показатели за 2012 г, аналогичные показатели занесены в таблицу

Коэффициент минимума общих затрат:

$$E = 2510478 - 2500784 = 9694 \text{ грн.}$$

Коэффициент интегрированности:

$$K_{\text{инт.}} = \frac{4000 - 3850}{11} = 13,64 \text{ грн/ч.}$$

Коэффициент информативности:

$$K_{\text{инф.}} = 11 \cdot 0,93 \cdot 0,89 = 9,10 \text{ ч.}$$

Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{2,25 \cdot 2,2^2}{2} = 5,45 \text{ т} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2.$$

По остальным годам расчет выполняется аналогично и результаты заносятся в табл.

2.

Таблица 2. результаты расчета эффективности функционирования ИЛС

Год Показатели	2009	2010	2011	2012
$E, \text{ грн}$	14997	13672	12787	9694
$K_{\text{инт.}}, \text{ грн/ч}$	7,67	7,83	8,19	13,64
$K_{\text{инф.}}, \text{ ч}$	7,65	8,00	8,46	9,10
$E_k, \text{ т} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$	4,60	4,78	5,01	5,45

Анализ полученных результатов (табл. 2) показывает следующее (Лесина, 2016: 45):

- сокращение общих затрат на логистику, свидетельствует о внедрении оптимизационных программ управления;

- рост коэффициента интегрированности показывает, что ИЛС развивается, т.е. разрабатываются новые процедуры и методы, концепции, алгоритмы и т.д.;

- увеличение значения коэффициента информативности характеризует работу ИЛС с лучшей стороны и указывает на то, что обработка информационного потока внутри системы

происходит на высоком уровне;

- рост кинетической энергии, характеризует ИЛС предприятия, как систему, в управлении которой применяются инновационные программы и технологии.

Заключение.

Проведённое исследование интегрированной логистической системы (ИЛС) промышленного предприятия позволило достичь поставленной цели и подтвердить выдвинутый в работе тезис о том, что применение новых показателей — интегрированности, информативности и кинетической энергии системы — обеспечивает более комплексную и объективную оценку эффективности функционирования логистической системы по сравнению с традиционными методами. Анализ существующих подходов, представленных в трудах отечественных и зарубежных исследователей, выявил существенные ограничения классических методик, направленных преимущественно на измерение материальных потоков и не учитывающих динамические, энергетические и информационные параметры взаимодействия элементов системы. Это подтвердило актуальность и научную значимость проведённой работы.

Цели исследования были реализованы последовательно и полно. На основе системного, сравнительного и логистического методов изучены теоретические основы формирования ИЛС, определены ключевые характеристики её функционирования и разработаны методические инструменты оценки эффективности. Были проанализированы

современные подходы к оценке логистических систем, выявлены их сильные и слабые стороны, определены несовершенства используемых критериев и показатели, не позволяющие охватывать многомерность логистических процессов. Это создало основу для разработки дополнительных показателей, отражающих уровень интеграции, согласованности, информационной насыщенности и динамической устойчивости системы.

В ходе исследования предложена система показателей оценки эффективности ИЛС, включающая коэффициент интегрированности, показатель информативности и показатель кинетической энергии логистической системы. Применение этих показателей к ИЛС металлургического комбината ОАО «Запорожсталь» позволило выявить реальные параметры функционирования системы, определить её сильные стороны и зафиксировать недостатки в части согласованности процессов, уровня информационного обмена и скорости реагирования на изменения внешней среды. Проведённый расчёт продемонстрировал, что предложенный подход позволяет дать более глубинную характеристику текущего состояния логистической системы, по сравнению с традиционными методами, ограниченными материальными параметрами.

Полученные результаты исследования позволяют сделать несколько ключевых выводов. Во-первых, ИЛС промышленного предприятия представляет собой сложную динамическую структуру, функционирование которой невозможно полноценно оценить только с помощью классических экономических и логистических показателей. Во-вторых, предложенные автором показатели обеспечивают комплексный анализ логистической системы: коэффициент интегрированности показывает степень согласованности действий подразделений; показатель информативности отражает полноту и качество информационных потоков, обеспечивающих функционирование ИЛС; показатель кинетической энергии характеризует динамическую устойчивость системы и её способность адаптироваться к внешним изменениям. В совокупности эти параметры позволяют не только анализировать текущее состояние ИЛС, но и прогнозировать её устойчивость, эффективность и потенциал развития.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что предложенный методический подход может быть использован различными промышленными предприятиями для проведения комплексной диагностики логистических процессов, выявления узких мест и разработки мероприятий по повышению эффективности функционирования системы. Применение методики создаёт возможность оптимизировать организационную структуру логистики, повысить содержание и скорость информационного обмена, улучшить взаимодействие подразделений, сократить логистические издержки и ускорить реакцию предприятия на изменения внешней среды.

Перспективы дальнейшей научной работы связаны с уточнением и развитием предложенных показателей, адаптацией методики к отраслям с различной степенью технологической сложности, а также расширением анализа на цифровые логистические системы и системы с использованием технологий промышленного интернета вещей. Потенциал применения методики в условиях цифровизации создаёт основу для разработки интеллектуальных моделей, способных в режиме реального времени оценивать эффективность ИЛС, выявлять отклонения и предлагать корректирующие воздействия. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку программных инструментов, которые автоматизируют расчёт показателей, интегрируются с ERP-системами предприятия и обеспечат непрерывный мониторинг состояния логистической системы.

Таким образом, представленная работа расширяет существующее научное знание в области логистики промышленного предприятия, обосновывая необходимость комплексной оценки функционирования ИЛС с учётом интеграционных, информационных и динамических характеристик. Результаты исследования подтверждают истинность выдвинутого тезиса и демонстрируют практическую значимость предложенного

методического подхода, который может быть использован как основа для дальнейших научных разработок и внедрения инновационных решений в логистические процессы современных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

Григорак, 2010 — Григорак М., Костиченко Л. Методика оцінки використання потенціалу логістичної інфраструктури // Економічні науки. Серія “Економіка та менеджмент”: збірник наукових праць. — Луцьк: Луцький національний технічний університет, — 2010. — № 7 (26). — С. 45–50. [Ukr.]

Василевський, 2008 — Василевський М., Билик І., Дейнега О., Довба М., Крикавський Є. Економіка логістичних систем: монографія. — Львів: Видавництво Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, — 2008. — 596 с. [Ukr.]

Кобзева, 2008 — Кобзева К.В. Логістична система підприємства // Економіка. Менеджмент. Підприємництво: збірник наукових праць. — Східноукраїнський національний університет, — 2008. — № 19. — С. 116–122. [Ukr.]

Куцен, 2022 — Куцен Т.Д. Управление эффективностью логистической системы организации (на примере ООО «Конструктор»): выпускная квалификационная работа по направлению подготовки 38.03.02 «Менеджмент». — Москва. — 2022. — 67 с.: 19. [Russ.]

Лесина, 2016 — Лесина В.В. Повышение эффективности процесса доставки продукции потребителям (на примере ООО «Faurecia»): бакалаврская работа: Тольятти. — 2016. — 80 с. [Russ.]

Лукинский, 2007 — Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: учебное пособие. — СПб.: Питер, — 2007. — 448 с. [Russ.]

Неруш, 2006 — Неруш Ю.М. Логистика. — М.: ТК Велби, Проспект, — 2006. — 4-е изд.— 520 с. [Russ.]

Порохня, 2012 — Порохня В.М. Теорія формування та управління капіталом // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. — 2012. — № 5. — С. 261–269. [Ukr.]

Семенов, 2008 — Семенов Г.А., Гиря М.Г. Удосконалення організації матеріально-технічного забезпечення на підставі логістики: монографія. — Запоріжжя: КПУ, ЗЦНТЕІ, — 2008. — 328 с. [Ukr.]

Сток, 2005 — Сток Дж.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой; пер. с англ. В.Н. Егорова. — М.: ИНФРА-М, — 2005. — 797 с. [Eng./Russ.]

Харисон, 2007 — Харисон А., Ван Хоук Р.; пер. с англ. В.А. Самило. Управление логистикой: разработка стратегий логистических операций. — Днепропетровськ: Баланс Бизнес Букс, — 2007. — 368 с. [Russ.]

Гуров, 2019 — Гуров В.В. Логистические подходы к повышению эффективности цепей поставок // Вестник университета. — 2019. — № 12. — С. 55–62. [Russ.]

Шаповалов, 2013 — Шаповалов А. М. «Оценка эффективности функционирования интегрированной логистической системы предприятия» // Эффективна економіка. — 2013. — № 5. — С. 1–5. [Russ.]

REFERENCES

Hryhorak, 2010 — Hryhorak, M., Kostychenko, L. (2010). Metodyka otsinky vykorystannya potentsialu lohystychnoyi infrastrukтуры [Methodology for assessing the use of logistics infrastructure potential]. Ekonomichni nauky. Seriiia “Ekonomika ta menedzhment”: zbirnyk naukovykh prats, 7(26), 45–50. Lutsk: Lutsk National Technical University. [in Ukr.]

Vasylevskyi, 2008 — Vasylevskyi, M., Bilyk, I., Deineha, O., Dovha, M., Krykavskyi, Ye. (2008). Ekonomika lohystychnykh system: monografiia [Economics of logistics systems: monograph]. Lviv: Vydavnytstvo Nats. un-tu “Lvivska politekhnika”. — 596 p. [in Ukr.]

Kobzeva, 2008 — Kobzeva, K.V. (2008). Lohystychna systema pidpriemstva [Logistics system of the enterprise]. Ekonomika. Menedzhment. Pidpriemnytstvo: zbirnyk naukovykh prats, 19, 116–122. Svitlo-Ukrainiyskyi National University. [in Ukr.]

Kuken, 2022 — Kuken, T.D. (2022). Upravlenie effektivnost'yu logisticheskoi sistemy organizatsii (na primere ООО “Konstruktor”) [Management of logistics system efficiency (case study of LLC “Constructor”)]. Moscow. — 67 p. [in Russ.]

Lesina, 2016 — Lesina, V.V. (2016). Povishenie effektivnosti protsessa dostavki produktsii potrebitelyam (na primere ООО “Faurecia”) [Improving delivery process efficiency (case study of LLC “Faurecia”)]. Bachelor thesis. Tolyatti. — 80 p. [in Russ.]

Lukinskyi, 2007 — Lukinskyi, V.S. (2007). Modeli i metody teorii logistyky: uchebnoe posobie [Models and methods of logistics theory: textbook]. SPb: Piter. — 448 p. [in Russ.]

Nerush, 2006 — Nerush, Yu.M. (2006). Lohystyka [Logistics]. 4th ed. Moscow: TK Velbi, Prospekt. — 520 p. [in Russ.]

Porokhnya, 2012 — Porokhnya, V.M. (2012). Teoriia formuvannia ta upravlinnia kapitalom [Theory of formation and capital management]. Derzhava ta rehiony. Serii: Ekonomika ta pidpriemnytstvo, 5, 261–269. [in Ukr.]

Semenov, 2008 — Semenov, H.A., Hyria, M.H. (2008). Udoskonalennia orhanizatsii material'no-tekhnichnoho zabezpechennia na pidstavi lohistyky: monografiia [Improvement of material-technical support organization based on logistics: monograph]. Zaporizhzhia: KPU, ZCNTEI. — 328 p. [in Ukr.]

Stock, 2005 — Stock, J.R., Lambert, D.M. (2005). Strategicheskoe upravlenie logistikoi [Strategic logistics management; translated by V.N. Egorov]. Moscow: INFRA-M. — 797 p. [Eng./Russ.]

Harrison, 2007 — Harrison, A., Van Houk, R. (2007). Upravlenie logistikoi: razrabotka strategii logisticheskikh operatsii [Logistics management: developing strategies for logistics operations; translated by V.A. Samilo]. Dnipropetrovsk: Balans Business Books. — 368 p. [in Russ.]

Gurov, 2019 — Gurov, V.V. (2019). Lohistychni pidkhody do povyshennia efektyvnosti tsepei postavok [Logistics approaches to increasing supply chain efficiency]. Vestnyk universytetu, 12, 55–62. [in Russ.]

Shapovalov, 2013 — Shapovalov, A.M. (2013). Otsinka efektyvnosti funktsionuvannia intehrovanoi lohistychnoi systemy pidpriemstva [Assessment of integrated logistics system efficiency]. Efektyvna ekonomika, 5, 1–5. [in Russ.]

ҚАЗАҚСТАН ӨНДР ІС 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 15.09.2025. Формат 60x84 1/8 . Бумага офсет №1. Гарнитура «Таймс» . Печать

RISO. Объем 12,9 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.