

**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**

**2024 №3(83)**

*июль - сентябрь*

**РЕДАКЦИЯЛЫҚ КЕҢЕС:**

**БАС РЕДАКТОР:**

**Омаров Амангельды Джумагалиевич** — (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)

**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 ДаниярАқбулатович** — (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 ID57680586200, 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 Айнур 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 ID15623452500, 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>

© Халықаралық көлік-гуманитарлық университеті, 2024

© Авторлар ұжымы, 2024

---

**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)

**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](mailto: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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

---

**Industrial Transport of Kazakhstan**

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

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

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

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

**Periodicity:** 4 times a year.

**Circulation:** 500 copies.

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

E-mail: [info@mtgu.edu.kz](mailto:info@mtgu.edu.kz)

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

**CONTENTS**

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING AND TRANSPORT AUTOMATION**

<b>D.R. Rashidinov</b> DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED COLLEGE MANAGEMENT SYSTEM USING MODERN TECHNOLOGIES	7
<b>R. Safin, Y. Bagdollauly, Jia Wei</b> EVALUATION OF MPEG-2 FAMILY CODECS	21
<b>Y.M. Tanzharykov</b> SYSTEMATIC ANALYSIS OF CREDIT SCORING MODEL DEVELOPMENT USING PYTHON	36
<b>V. Vasilyev</b> TONAL RAIL CIRCUIT EQUIPMENT IN MODERN RAILWAY AUTOMATION: ARCHITECTURE, ANALYSIS, AND DIGITALIZATION PROSPECTS	48

**COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS**

<b>N.V. Devet'yarova, Hao Han</b> ANALYTICAL REVIEW: FREIGHT TRANSPORTATION LOGISTICS OF JSC "NC "KAZAKHSTAN TEMIR ZHOLY	60
<b>Zh.Zh. Moldasheva</b> DETERMINATION OF THE REGULARITIES OF GROUP ARRIVALS BY ASSIGNMENT AND ESTABLISHMENT OF THEIR ARRIVAL ORDER	79
<b>R.N. Moldasheva</b> INTELLECTUALIZATION OF MANAGERIAL DECISION SUPPORT IN EMERGENCY SITUATIONS IN RAILWAY TRANSPORTATION	95
<b>A. Turdali</b> METHODOLOGY FOR CALCULATING THE LOAD-BEARING AND TENSILE ELEMENTS OF SAFETY BARRIERS FOR COMPLEX LOADS	110

**МАЗМҰНЫ**

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖӘНЕ КӨЛІКТІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

<b>Д.Р. Рашидинов</b> ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП КОЛЛЕДЖДІ БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ	7
<b>Р. Сафин<sup>1</sup>, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй</b> MPEG-2 КОДЕКТЕР ОТБАСЫН ТЕСТІЛЕУ	21
<b>Е.М. Танжарыков</b> PYTHON-ДА НЕСИЕЛІК СКОРИНГТІҢ ҚҰРЫЛЫСЫН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ	36
<b>В. Васильев</b> ҚАЗІРГІ ТЕМІРЖОЛ АВТОМАТИКАСЫНДАҒЫ ТОНАЛДЫ РЕЛЬСТІК ТІЗБЕКТЕР: АРХИТЕКТУРАСЫ, ТАЛДАУЫ ЖӘНЕ ЦИФРЛАНДЫРУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ	48

## ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

**Н.В. Деветьярова, Хао Хан**

АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ: АО «НК «ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ»  
КОМПАНИЯСЫНЫҢ ЖҮК ТАСЫМАЛДАУ ЛОГИСТИКАСЫ 60

**Ж.Ж. Молдашева**

ТАҒАЙЫНДАЛУЫНА ҚАРАЙ ТОПТАРДЫҢ КЕЛУ ЗАҢДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ  
ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КЕЛУ РЕТІН БЕЛГІЛЕУ 79

**Р.Н. Молдашева**

ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР ЖАҒДАЙЫНДА  
БАСҚАРУШЫЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ЗИЯТТАНДЫРУ 95

**Б. Тұрдәлі**

КҮРДЕЛІ ЖҮКТЕМЕЛЕРГЕ ҚАУІПСІЗДІК КЕДЕРГІЛЕРІНІҢ ЖҮК КӨТЕРГІШ  
ЖӘНЕ СОЗҒЫШ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ 110

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА

**Д.Р. Рашидинов**

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛЕДЖЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ 7

**Р.Т. Сафин<sup>1</sup>, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй**

ТЕСТИРОВАНИЕ КОДЕКОВ СЕМЕЙСТВА MPEG-2 21

**Е.М. Танжарыков**

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА НА  
ЯЗЫКЕ PYTHON 36

**В. Васильев**

ТОНАЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ В СОВРЕМЕННОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
АВТОМАТИКЕ: АРХИТЕКТУРА, АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ 48

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

**Н.В. Деветьярова, Хао Хан**

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛОГИСТИКИ ГРУЗОВЫХ ТРАНСПОРТИРОВОК  
КОМПАНИИ АО «НК «ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ» 60

**Ж.Ж. Молдашева**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ГРУПП ПО  
НАЗНАЧЕНИЯМ И ПОЛУЧЕНИЕ ПОРЯДКА ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ 79

**Р.Н. Молдашева**

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ  
РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧС НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ 95

**Б. Тұрдәлі**

МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩИХ И РАСТЯЖИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ НА СЛОЖНЫЕ ЗАГРУЖЕНИЯ 110

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

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 7–20  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.001>

## DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED COLLEGE MANAGEMENT SYSTEM USING MODERN TECHNOLOGIES

*D.R. Rashidinov*

Almaty university of technology, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: [d.rashidinov@atu.edu.kz](mailto:d.rashidinov@atu.edu.kz)

**Rashidinov Damir Rashidinovich** — Senior lecturer, Almaty university of technology, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [d.rashidinov@atu.edu.kz](mailto:d.rashidinov@atu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-8095-3025>.

© D.R. Rashidinov

**Abstract.** Automation of the educational process is a relevant task in modern secondary vocational education. Increasing workloads on teaching and administrative staff make the implementation of specialized information systems critical for improving the efficiency of college management. The aim of this study is to develop an Automated College Management System (ACMS), taking into account the specifics of secondary vocational education, featuring a modular architecture, role-based access control, and modern UX/UI design. The study involved the analysis of existing management systems (Platonus, BilimAl, Kundelik, “Univer” System) and popular social platforms (VK, Facebook) to identify optimal interface solutions. A database was designed in the third normal form (3NF) to ensure data integrity, scalability, and performance. Interface and visual design prototypes were developed, and both Front-end and Back-end were implemented using ASP.NET. The system was tested with students, teachers, and administrators. Results showed that implementing ACMS optimizes management processes, reduces time spent on administrative tasks, and improves usability and educational quality. The developed system features a flexible modular architecture, role-based access, modern UX/UI interface, and customization options for specific institutions. Developing a specialized ACMS confirms the hypothesis that college management automation improves staff efficiency and educational quality. The study has practical and theoretical significance and paves the way for the integration of modern IT technologies in secondary vocational education.

**Keywords:** automation, college, ACMS, UX/UI, modular architecture, role-based access

**For citation:** D.R. Rashidinov. Development and Implementation of an Automated College Management System Using Modern Technologies//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 07–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.001>.

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

---

## ЗАМАНАУИ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП КОЛЛЕДЖДІ БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

---



*Д.Р. Рашидинов*

Алматинский технология университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: d.rashidinov@atu.edu.kz

**Рашидинов Дамир Рашидинович** — сеньор-лектор, Алматинский технология университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: d.rashidinov@atu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8095-3025>.

© Д.Р. Рашидинов

**Аннотация.** Білім беру процесін автоматтандыру қазіргі орта кәсіптік білім беру саласында өзекті мәселе болып табылады. Оқытушылар мен әкімшілік персоналға түсетін жүктемені ескере отырып, арнайы ақпараттық жүйелерді енгізу колледждерді тиімді басқаруды арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты — орта кәсіптік білім берудің ерекшеліктерін ескере отырып, модульдік архитектурасы, рөлге байланысты қолжетімділік және заманауи UX/UI интерфейсі бар колледжді автоматтандырылған басқару жүйесін (АСБЖ) әзірлеу. Жұмыс барысында бар білім беру басқару жүйелері (Platonus, BilimAI, Кунделик, «Универ» жүйесі) және әлеуметтік желілер (ВКонтакте, Facebook) талданып, интерфейс үшін оптималды шешімдер анықталды. Деректер базасы үшінші қалыпты формада (3NF) жобаланды, бұл деректер тұтастығы, масштабталу және өнімділікті қамтамасыз етеді. Интерфейс және визуалды дизайн прототиптері әзірленді, Front-end және Back-end ASP.NET технологиясымен жүзеге асырылды. Жүйе студенттер, оқытушылар және әкімшілер қатысуымен сынақтан өтті. Нәтижелер көрсеткендей, АСБЖ енгізу басқару процестерін оңтайландырады, әкімшілік жұмыстарға кететін уақытты қысқартады және оқу процесінің сапасы мен ыңғайлылығын арттырады. Жүйе икемді модульдік архитектураға, рөлге байланысты қолжетімділікке, заманауи UX/UI интерфейсіне және жеке оқу орындарына бейімдеуге мүмкіндік береді. Мамандандырылған АСБЖ әзірлеу колледжді басқаруды автоматтандыру персоналдың тиімділігін және білім беру процесінің сапасын арттыратынын растайды. Жұмыс практикалық және теориялық мәнге ие болып, орта кәсіптік білімде заманауи IT технологияларын енгізуге перспективалар ашады.

**Түйін сөздер:** автоматтандыру, колледж, АСБЖ, UX/UI, модульдік архитектура, рөлге байланысты қолжетімділік

**Дәйексөздер үшін:** Д.Р. Рашидинов. Заманауи технологияларды пайдалана отырып колледжді басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу және енгізу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 07–20 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.001>.

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

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЛЕДЖЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Д.Р. Рашидинов*

Алматинский технология университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: d.rashidinov@atu.edu.kz

**Рашидинов Дамир Рашидинович** — сеньор-лектор, Алматинский технология университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: d.rashidinov@atu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8095-3025>.

© Д.Р. Рашидинов



**Аннотация.** Автоматизация образовательного процесса является актуальной задачей современного среднего профессионального образования. В условиях увеличивающейся нагрузки на преподавателей и административный персонал внедрение специализированных информационных систем позволяет повысить эффективность управления колледжами. Цель исследования — разработка автоматизированной системы управления колледжем (АСУК), учитывающей особенности СПО, с модульной архитектурой, поддержкой роли-зависимого доступа и современным UX/UI интерфейсом. В рамках работы проведён анализ существующих систем управления (Platonus, BilimAI, Кунделик, Система «Универ») и популярных социальных платформ (ВКонтакте, Facebook) для выявления оптимальных решений интерфейса. Спроектирована база данных в третьей нормальной форме (3NF) для обеспечения целостности, масштабируемости и быстродействия. Разработаны прототипы интерфейса и визуального дизайна, реализован Front-end и Back-end с использованием ASP.NET. Система протестирована с участием студентов, преподавателей и администраторов. Результаты показали, что внедрение АСУК позволяет оптимизировать процессы управления, сократить время на административные задачи, повысить удобство и качество образовательного процесса. Разработанная система обладает гибкой модульной архитектурой, роль-зависимым доступом, современным UX/UI интерфейсом и возможностью кастомизации под конкретное учебное заведение. Создание специализированной АСУК подтверждает гипотезу о том, что автоматизация управления колледжем повышает эффективность работы персонала и улучшает качество образовательного процесса. Работа имеет практическое и теоретическое значение, открывает перспективы внедрения современных IT-технологий в СПО.

**Ключевые слова:** автоматизация, колледж, АСУК, UX/UI, модульная архитектура, роль-зависимый доступ

**Для цитирования:** Д.Р. Рашидинов. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления колледжем с использованием современных технологий//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 07–20. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.001>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Автоматизация образовательного процесса является неотъемлемой частью развития современных учебных заведений. Она направлена на повышение качества образования, снижение административной нагрузки и оптимизацию работы преподавательского и управленческого персонала. Однако большинство существующих систем разработаны преимущественно для школ и вузов, в то время как колледжи остаются вне поля внимания разработчиков. Учитывая специфические требования среднего профессионального образования, становится актуальной задача создания специализированной автоматизированной системы управления колледжем (АСУК) (Landing Page Generator, 2015: 1; Хабр, 2015а: 1; Хабр, 2015б: 1; Герасименко, 2015: 180–184).

Колледжи, как звено между школьным и высшим образованием, имеют уникальные особенности: отличающиеся планы обучения, специфические формы отчетности, состав контингента и организационные процессы.

Существующие системы, такие как Platonus, BilimAI и др., не охватывают специфику СПО в полном объеме.

Предлагаемая разработка отличается адаптацией под нужды колледжей, поддержкой многоуровневой авторизации и расширенной модульной архитектурой.

Новизна работы заключается в:

- интеграции современных технологий разработки веб-приложений (ASP.NET)
- создании интерфейса, соответствующего UX-требованиям образовательных пользователей;

-моделировании базы данных в 3NF для обеспечения целостности, масштабируемости и быстродействия;

-поддержке роли-зависимого доступа (студент, преподаватель, администратор);

-гибкости системы: возможность кастомизации под конкретное учебное заведение.

### **Материалы и методы**

#### **Материалы исследования**

Объектом исследования является автоматизированная система управления колледжем (АСУК), разработанная с использованием современных веб-технологий. Материал исследования представлен как в качественном, так и в количественном аспекте:

- Качественный аспект: анализ существующих систем управления образовательными учреждениями (Platonus, BilimAI, Кунделик, Система «Универ»), изучение UX-дизайна и требований конечных пользователей (студенты, преподаватели, администраторы).

- Количественный аспект: сбор данных о структуре образовательного процесса, количестве курсов, студенческого контингента, ролей пользователей и функциональных модулей системы.

- Используемые материалы включают: архивные данные колледжей, результаты опросов методистов и преподавателей, а также анализ цифровых ресурсов и прототипов аналогичных систем.

#### **Методология исследования**

Научная методология работы состоит из следующих компонентов:

#### **Вопросы исследования:**

- Как автоматизация управления может повысить эффективность образовательного процесса в колледже?

- Какие функциональные и организационные особенности необходимо учитывать при разработке АСУК для среднего профессионального образования?

- Как обеспечить удобство интерфейса для различных категорий пользователей при сохранении целостности данных и масштабируемости системы?

Предлагаемая гипотеза (тезис): разработка специализированной АСУК с модульной архитектурой и поддержкой многоуровневой авторизации повышает эффективность работы преподавательского и административного персонала, а также улучшает качество образовательного процесса.

#### **Этапы исследования:**

1 Анализ существующих систем управления образовательными учреждениями и социальных сетей для выявления оптимальных решений UX/UI;

2 Проектирование базы данных в третьей нормальной форме (3NF) для обеспечения целостности, быстродействия и масштабируемости;

3 Разработка прототипов интерфейсов и визуального дизайна;

4 Реализация Front-end и Back-end системы с использованием ASP.NET;

5 Тестирование и корректировка функционала с привлечением пользователей (студентов, преподавателей, администраторов).

#### **Методы исследования:**

- Сравнительный анализ существующих решений;

- контент-анализ документации и цифровых ресурсов;

- кейс-анализ успешных практик внедрения образовательных систем;

- моделирование и проектирование базы данных и пользовательского интерфейса;

- эмпирическое тестирование прототипов с последующей корректировкой на основе обратной связи пользователей.

Характеристика материала исследования позволяет определить достоверность выводов и применяемых методов. Использование качественных и количественных данных обеспечивает комплексный подход к разработке и внедрению АСУК.

Все материалы были изучены без повторения ранее опубликованных результатов, с обязательной идентификацией источников, включая архивные и современные письменные материалы. Новизна работы проявляется в разработке системы, полностью адаптированной под специфические требования колледжей, с акцентом на модульность, роль-зависимый доступ и UX-дизайн.

### Результаты и обсуждение

#### Этапы проектирования и реализации Front-end

Основные этапы работы над веб-проектом включают последовательное прохождение нескольких стадий проектирования интерфейса. Каждый этап дизайн-процесса состоит из двух фаз: дивергентной (генерация идей и расширение возможных решений) и конвергентной (отбор оптимальных вариантов и фокусировка на ключевых решениях) (Измалкова, 2015: 151–158; Ситникова, 2015: 137–138; Шилина, 2015: 235–244; Яковлев, 2015: 83–90; Берд, 2016: 224; Бхаскаран, 2015: 256) (Рис. 1).

На дивергентной фазе формируется большое количество идей, концепций и возможных вариантов реализации интерфейса. Далее, на конвергентной фазе, происходит отбор и уточнение наиболее удачных решений, что позволяет сузить количество вариантов до оптимальных.

По завершении каждого этапа создаются промежуточные результаты, такие как структура сайта, прототипы страниц, визуальные решения и дизайн-концепции. Именно на основе этих промежуточных результатов формируется конечный продукт, отвечающий требованиям пользователей и соответствующий целям проекта.



Рис. 1. Соблюдение этого сценария и выдерживание последовательности - некоторая гарантия получения удовлетворительного результата

Рассмотрим каждый этап.

Исследование — это способ превратить неорганизованный творческий процесс в технологичную цепочку действий, которые приводят к предсказуемому результату.

Сайты конкурентов. Когда вы определились с идеей веб-проекта и его структурой, посмотрите веб-проекты конкурентов и найдите хорошие решения. Оценивайте не то, как они выглядят, а содержание: из чего состоит меню, что они вынесли на главную страницу, какие разделы на веб-проекте, что они пишут и как.

На рисунке ниже показано пример в нашем случае. В нашем случае мы оценивали системы Platonus, BilimAI, Кунделик и Система "Универ". Потому что все эти системы уже работали на уровне школ и университетов. Мы выяснили их главные преимущество и недостатки. И оптимально построили один из начальных вариантов дизайна системы (Рис. 2).

The image shows a web interface for 'platonus'. On the left is a dark sidebar with navigation items: 'Картотека', 'Журнал', 'Параметры авторизации', 'Анкетирование', and 'Сообщения'. The main area is titled 'Персональные сведения' (Personal Information) and contains several input fields for: 'Фамилия' (Konstantinopolskiy), 'Имя' (Konstantin), 'Отчество' (Konstantinovich), 'Прежняя фамилия', 'Фамилия транслитом' (Konstantinopolskiy), 'Имя транслитом' (Konstantin), 'Отчество транслитом', 'ИИН' (670530303076), 'Дата рождения' (30-05-1977), and 'Национальность'. An 'ID 2 WEB' overlay is positioned on the right, displaying a photo of a man and his details: 'Константинопольский Константин Константинович', 'ИИН: 670530303076', 'Дата рождения: 30.05.1977', 'Место рождения: RUSSIAN FED', 'Орган выдачи: MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS', 'Номер документа: 1234567890', and 'Срок действия: 06.04.2010 - 05.04.2020'. Buttons for 'УДАЛИТЬ' and 'ЗАПОЛНИТЬ ФОРМУ' are visible at the bottom of the ID card.

Рис. 2. Дизайн АСУ Platonus

Кросс-категории. Кроме того мы изучили не только похожие системы к нашему и к тому же изучали популярные соц. сети. В нашем случае Вконтакте, Facebook и т.п. Все это для того чтобы узнать какие информации должны стоять вместе или наоборот отдельно, сколько категорий или подкатегорий нужны для оптимально простого интерфейса и т.д. (Рис. 3).



Рис. 3. Дизайн популярного соц. сети Вконтакте

Вдохновляющие примеры. Даже люди с большим опытом работы в веб-дизайне, регулярно просматривают новые сайты, следят за тенденциями, находят вдохновение в работах коллег. Вдохновиться — не значит скопировать подчистую, нужно просто смотреть как выглядит современный интернет вообще, что сейчас модно и классно.

Так как наша система для образовательной сферы мы изучали что в тенденции в этой сфере. Что хотя бы видит учителя и что хотя бы видит обучающиеся ведь наша основная аудитория является именно они (Рис. 4).



Рис. 4. Цифровая образовательная среда

Эскиз сайта или прототип. Вы посмотрели на конкурентов, вдохновились классными образцами и у вас в голове уже появились первые идеи. Теперь нужно эти идеи выразить графически — сделать эскиз.

Эскиз или прототип — это схематичное изображение блоков, из которых состоит сайт. Ваш визуальный сценарий.

Делается это просто: возьмите лист бумаги, два фломастера: чёрный и какой-нибудь контрастный и нарисуйте схему что за чем будет идти. Не нужно все прорисовывать детально, только общую идею. Вам нужно получить сценарий вашей страницы. Думайте так, как будто вы делаете презентацию, мыслите экранами. Что вы хотели сказать? Вероятно, сначала надо показать какую-то крутую штуку, которая всех просто впечатлит и даст понять, куда человек попал, дальше рассказываете коротко о себе, потом — три преимущества, команда, несколько самых классных работ и контакты. Теперь вам просто нужно нарисовать всё, как оно должно быть (Рис. 5).

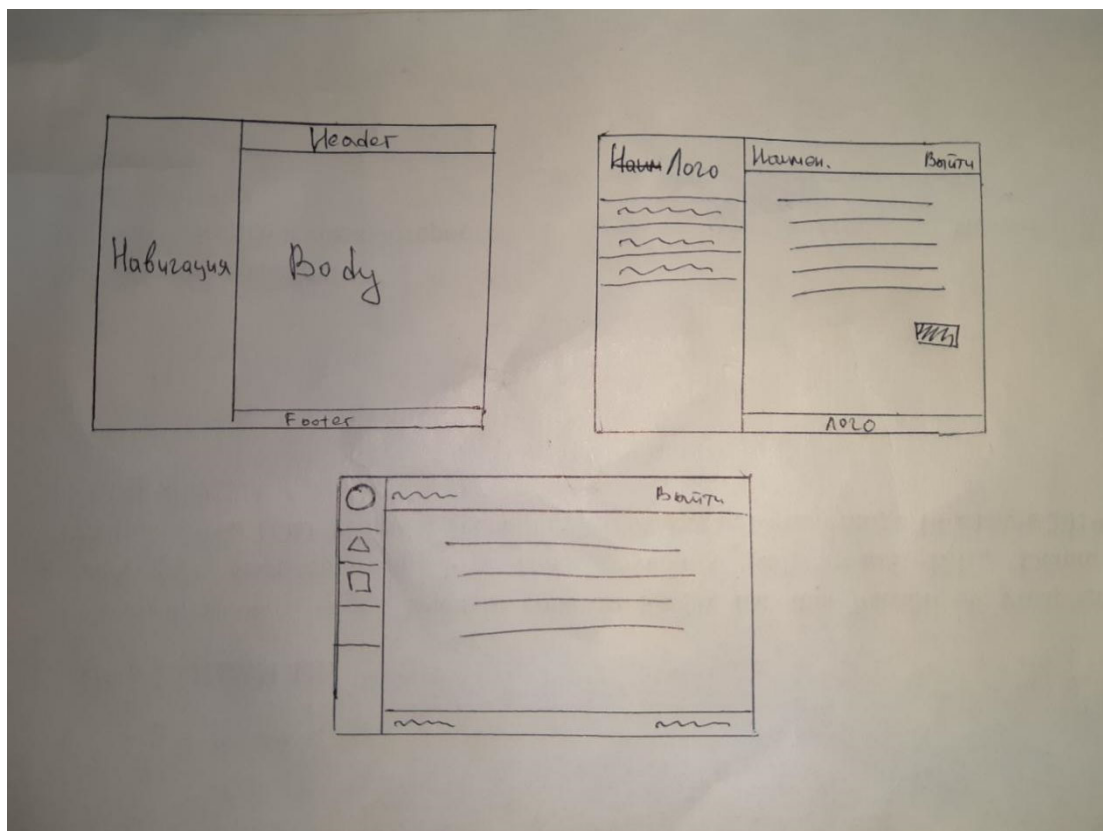


Рис. 5. Примеры того, как выглядят нарисованные прототипы

Содержание. Прежде чем рисовать дизайн, вам нужно позаботиться о контенте, потому что без него придется всё переделывать. Сначала соберите все материалы, которые у вас есть: презентации, брошюры, публикации. Это послужит отправной точкой. И мы все это сделали и поговорили с методистами, учителями. Главный текст про учебных заведений как принято мы дали заполнить методистам учебных заведений (Рис. 6).

РЕГИСТРАЦИЯ КОЛЛЕДЖА

Название колледжа :

Сокращенное название :

Страна :

Город :

Адрес :

Номер телефона   
[+Добавить новый элемент](#)

Система обучение :

Официальный сайт колледжа :

О Колледже :

Логотип колледжа : 

Рис. 6. Начальная страница заполнения колледжа

Дизайн. На этапе дизайна объединяются все предыдущие стадии. Прототипы оборачиваются в уникальный визуальный стиль и подход к коммуникации, наполняются контентом и продукт обретает свой финальный облик.

Все работы начинаются с главной страницы — она ключевая. Сначала приходит понимание, как будет выглядеть главная страница, затем найденное визуальное решение тиражируется на внутренние страницы.

После того, как утверждена основная концепция, начинается проработка деталей: рисуем иконки, заказываем фото и видеосъемку, корректируем тексты, согласно дизайну.

Не забывайте про мобильную версию, она рисуется после утверждения основных макетов.

Обложка (первый экран) заслуживает особенного внимания. Если там качественная фотография и небанальный, цепляющий заголовок, то первое впечатление будет удачным (Рис. 7).

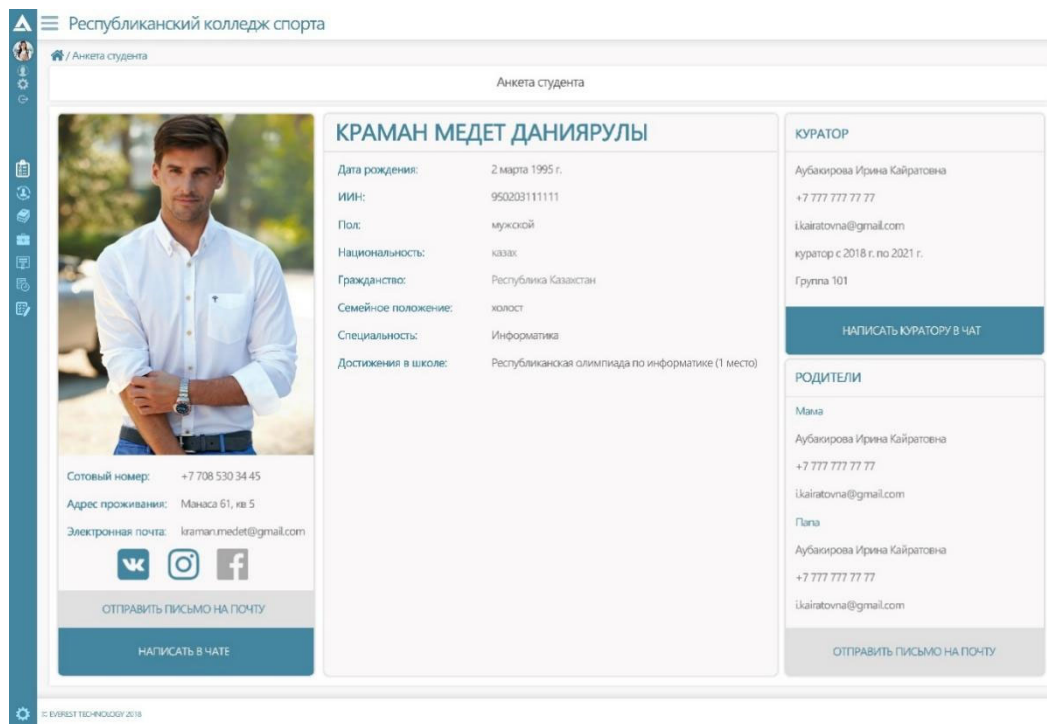


Рис. 7. Анкета Студента

Навигация. Рисуя меню, убедитесь, что оно визуально хорошее: не слишком большое, не перегружает всю страницу. Пунктов меню не должно быть много, лучше всего не больше 5. Смело укрупняйте разделы. Названия делайте короткими. Три слова как пункт меню явно не годится. Они должны считываться с первого взгляда (Рис. 8).

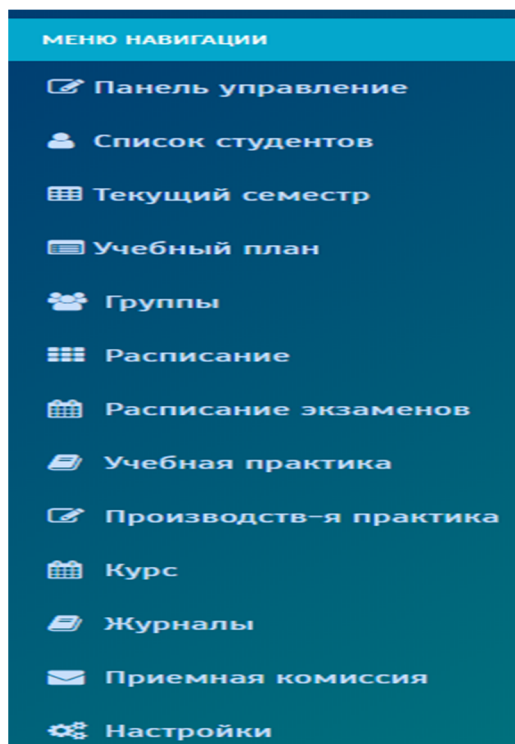


Рис. 8. Навигация

Логотип должен быть горизонтальным. Вертикальные логотипы в вебе работают плохо. Как правило, логотип располагается в меню, а оно не должно занимать много места на экране. Если логотипа у вас нет, то просто напишите название проекта каким-то не системным шрифтом, типа Proxima или Futura. Не мучайтесь, не заморачивайтесь с логотипом, если у вас ограниченный бюджет. Сейчас это не так важно, как общее впечатление от сайта. Подумайте лучше о фотографиях и общем стиле (Рис. 9).



Рис. 9. Логотип

Шрифт. Обязательно подключите фирменный шрифт, это влияет на коммуникацию. Сейчас все держится на контенте, поэтому сам шрифт и задаст вам фирменный стиль. У каждого шрифта есть характер, поэтому постарайтесь подобрать такой шрифт, который соответствует содержанию.

Как правило, для сайта вполне достаточно одного шрифта. Но если вы хотите добиться эффектного контраста, используйте шрифтовые пары: шрифт без засечек и шрифт с засечками. Примеры удачных шрифтовых сочетаний (Рис. 10):

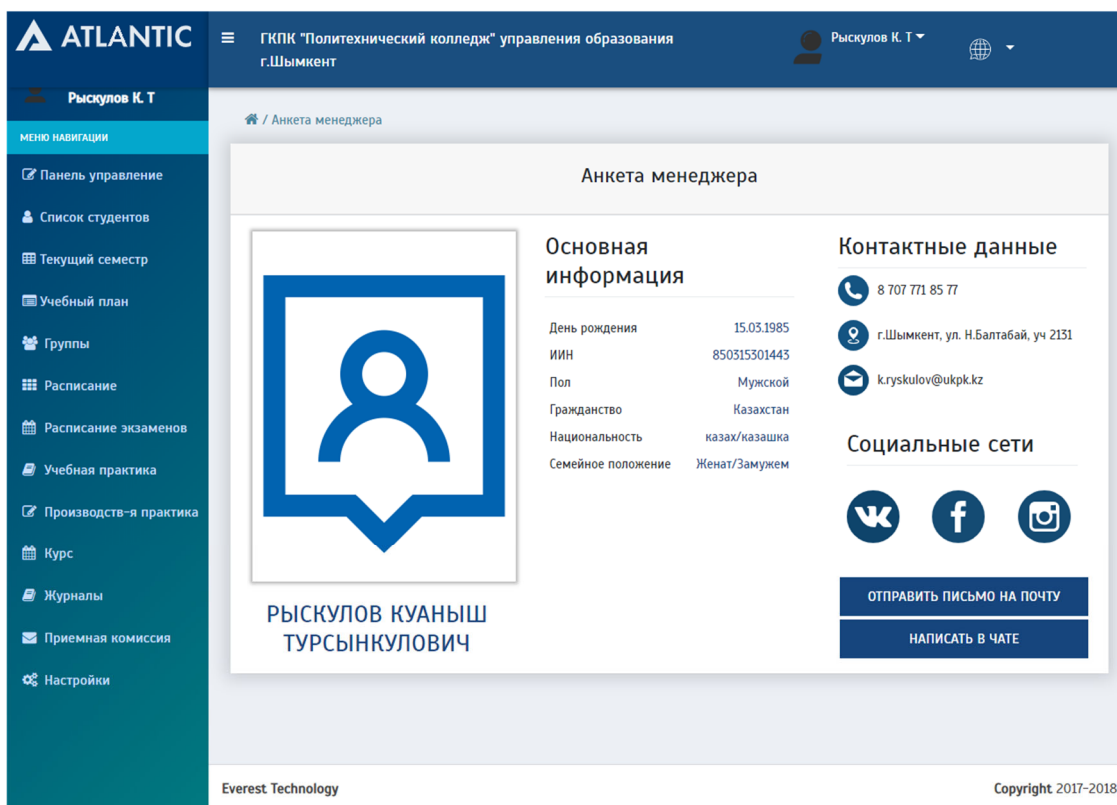


Рис. 10. Общий вид

Общий стиль и аккуратность. После того, как вы оформили все блоки, посмотрите, чтобы сайт выглядел приятно и аккуратно. Выровняйте отступы, сделайте заголовки

единообразными, проверьте, что размер шрифта в тексте везде одинаковый. Убедитесь, что на сайте достаточно свободного пространства.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования была успешно реализована задача создания и внедрения автоматизированной системы управления колледжем (АСУК) с применением современных веб-технологий и принципов UX-дизайна. Работа позволила объединить теоретические подходы к автоматизации образовательных процессов и практические требования колледжей, что обеспечило комплексный подход к решению поставленных задач.

Цель исследования — разработка специализированной АСУК, адаптированной под особенности колледжей — была полностью достигнута. Для реализации цели использовались следующие методы:

- Сравнительный анализ существующих систем управления образовательными учреждениями (Platonus, BilimAI, Кунделик, Система «Универ»), что позволило выявить сильные и слабые стороны аналогов и учесть их при проектировании новой системы;
- Контент-анализ и опросы конечных пользователей (преподавателей, методистов, студентов), который позволил выявить потребности в интерфейсе и функционале системы;
- Проектирование базы данных в третьей нормальной форме (3NF) для обеспечения целостности данных, масштабируемости системы и быстродействия при обработке больших объемов информации;
- Разработка прототипов и визуального дизайна с применением принципов UX/UI, что обеспечило удобство и понятность интерфейса для различных категорий пользователей;
- Эмпирическое тестирование прототипов и модулей системы с последующей корректировкой функционала на основе обратной связи.

Использование качественных и количественных методов исследования позволило превратить исходный творческий процесс в технологичную цепочку действий с предсказуемым результатом. Такой комплексный подход обеспечивает достоверность полученных выводов и надежность внедряемой системы.

В результате работы была создана функциональная автоматизированная система, включающая:

- Гибкую модульную архитектуру, обеспечивающую расширяемость и возможность добавления новых функциональных блоков;
- Роль-зависимый доступ для студентов, преподавателей и администраторов, что позволяет разграничить права и повысить безопасность данных;
- Современный UX/UI интерфейс, ориентированный на образовательных пользователей, что улучшает восприятие информации и повышает удобство работы с системой;
- Базу данных, построенную по принципу 3NF, обеспечивающую целостность информации, быстродействие при обработке запросов и возможность масштабирования под увеличивающееся количество пользователей;
- Возможность кастомизации системы под конкретное учебное заведение, включая адаптацию под учебные планы, отчетность и организационные процессы.

Проведенные тестирования показали, что система позволяет оптимизировать процессы управления, сократить время на административные задачи и повысить эффективность взаимодействия преподавателей и студентов.

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Разработка специализированной АСУК подтверждает выдвинутую гипотезу: автоматизация управления колледжем повышает эффективность работы преподавательского и административного персонала и улучшает качество образовательного процесса.

Интеграция современных веб-технологий и UX-дизайна обеспечивает удобство для всех категорий пользователей и способствует более быстрому освоению системы.

Модульная архитектура и ролевой доступ позволяют гибко адаптировать систему под различные учреждения и их внутренние процессы, что делает проект универсальным и масштабируемым.

Систематическое изучение конкурирующих решений и практик социальных сетей позволило создать интерфейс, соответствующий современным стандартам и привычкам пользователей, что повышает удовлетворённость конечного пользователя.

Разработанная АСУК может быть внедрена в колледжах для оптимизации учебного процесса и административной работы. Практическое применение системы включает:

- сокращение времени на подготовку отчётной документации и планирования учебного процесса;

- автоматизацию контроля успеваемости студентов и учёта посещаемости;

- интеграцию с существующими образовательными платформами;

- возможность дистанционного обучения и удалённого контроля образовательного процесса.

Перспективы дальнейшего развития системы включают:

- интеграцию аналитических модулей для мониторинга успеваемости и прогнозирования образовательных результатов;

- разработку мобильной версии для обеспечения доступа студентов и преподавателей в любое время;

- внедрение технологий искусственного интеллекта для автоматизации рутинных операций, таких как формирование отчётов и обработка заявок;

- масштабирование системы для сетевых образовательных учреждений и колледжей с филиалами.

Полученные результаты вносят вклад в развитие методологии автоматизации образовательных процессов в среднем профессиональном образовании. Работа демонстрирует возможность интеграции современных IT-технологий, UX-дизайна и ролевого управления доступом в единую систему, что способствует расширению научного знания в области образовательных технологий.

Таким образом, исследование подтвердило исходные гипотезы, достигло поставленных целей и создало основу для дальнейшего развития автоматизированных систем управления образовательными учреждениями. Полученные результаты имеют как теоретическое, так и практическое значение и открывают перспективы для внедрения инновационных технологий в колледжах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Берд, 2016 — Берд Д. Веб-дизайн. Руководство разработчика. — М.: Питер. — 2016. — 224 с. [Russ.]
- Бхаскаран, 2015 — Бхаскаран Л. Дизайн и время. — М.: Арт-Родник. — 2015. — 256 с. [Russ.]
- Хабр, 2015a — Big Data от А до Я: Принципы работы с большими данными, парадигма MapReduce // Российский интернет-проект “Хабр”. — 2015. — Режим доступа: URL: <https://habrahabr.ru/company/dca/blog/267361/>. — С. 1. — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]
- Хабр, 2015b — Аналитический обзор рынка Big Data // Российский интернет-проект “Хабр”. — 2015. — Режим доступа: URL: <https://habrahabr.ru/company/moex/blog/256747/>. — С. 1. — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]
- Герасименко, 2015 — Герасименко Н.А. О некоторых особенностях технологии BIG DATA. // Научное обозрение. — 2015. — № 16. — С. 180–184. [Russ.]
- Измалкова, 2015 — Измалкова С.А., Головина Т.А. Использование глобальных технологий «BIG DATA» в управлении экономическими системами // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. — 2015. — Т. 4. — № 1. — С. 151–158. [Russ.]
- Ситникова, 2015 — Ситникова Н.В., Парингер Р.А., Куприянов А.В. Исследование алгоритмов классификации с применением методов обработки BIG DATA. // XIII Королёвские чтения международная молодёжная научная конференция, сборник трудов. САМАРА. — 2015. — С. 137–138. [Russ.]
- Шилина, 2015 — Шилина М.Г. BIG DATA, OPEN DATA как новые форматы информации: сущность, характеристики, особенности применения в журнализме. // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Филология. 2015. № 3. С. 235–244. [Russ.]

- Яковлев, 2015 — Яковлев В.С. BIG DATA. // Техника и технологии: роль в развитии современного общества. — 2015. — № 6. — С. 83–90. [Russ.]
- Landing Page Generator, 2015 — Что такое Big Data (BigData) в маркетинге: проблемы, алгоритмы, методы анализа [Электронный ресурс] // Landing Page Generator - платформа создания и оптимизации посадочных страниц. — 2015. — Режим доступа: URL: <http://lpgenerator.ru/blog/2015/11/17/что-такое-big-data-bolshie-dannye-v-marketinge-problemy-algoritmy-metody-analiza/>. — С. 1. — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]

#### REFERENCES

- Berd, 2016 — Berd, D. (2016). Veb-dizain. Rukovodstvo razrabotchika [Web design: Developer's guide]. — М.: Piter. — 2016. — 224 p. [in Russ.]
- Bhaskaran, 2015 — Bhaskaran, L. (2015). Dizain i vremena [Design and time]. — М.: Art-Rodnik. — 2015. — 256 p. [in Russ.]
- Khabr, 2015a — Khabr (2015). Big Data ot A do Ya: Printsipy raboty s bol'shimi dannymi, paradigma MapReduce [Big Data from A to Z: Principles of working with big data, MapReduce paradigm] // Rossiiskii internet-proekt "Khabr". — 2015. — Rezhim dostupa: URL: <https://habrahabr.ru/company/dca/blog/267361/>. — P. 1. — Data obrashcheniya: 10.01.2024. [in Russ.]
- Khabr, 2015b — Khabr (2015). Analiticheskii obzor rynka Big Data [Analytical review of the Big Data market] // Rossiiskii internet-proekt "Khabr". — 2015. — Rezhim dostupa: URL: <https://habrahabr.ru/company/moex/blog/256747/>. — P. 1. — Data obrashcheniya: 10.01.2024. [in Russ.]
- Landing Page Generator, 2015 — Landing Page Generator (2015). Chto takoe Big Data (BigData) v marketinge: problemy, algoritmy, metody analiza [What is Big Data in marketing: problems, algorithms, methods of analysis] [Elektronnyi resurs] // Landing Page Generator - platforma sozdaniya i optimizatsii posadochnykh stranits. — 2015. — Rezhim dostupa: URL: <http://lpgenerator.ru/blog/2015/11/17/что-такое-big-data-bolshie-dannye-v-marketinge-problemy-algoritmy-metody-analiza/>. — P. 1. — Data obrashcheniya: 10.01.2024. [in Russ.]
- Gerasimenko, 2015 — Gerasimenko, N.A. (2015). O nekotorykh osobennostyakh tekhnologii BIG DATA [On some features of BIG DATA technology] // Nauchnoe obozrenie. — 2015. — No. 16. — Pp. 180–184. [in Russ.]
- Izmalkova, 2015 — Izmalkova, S.A., Golovina, T.A. (2015). Ispol'zovanie global'nykh tekhnologii «BIG DATA» v upravlenii ekonomicheskimi sistemami [Using global "BIG DATA" technologies in economic systems management] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki. — 2015. — T. 4. — No. 1. — Pp. 151–158. [in Russ.]
- Sitnikova, 2015 — Sitnikova, N.V., Paringer, R.A., Kupriyanov, A.V. (2015). Issledovanie algoritmov klassifikatsii s primeneniem metodov obrabotki BIG DATA [Study of classification algorithms using BIG DATA processing methods] // XIII Korolevskie chteniya mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya, sbornik trudov. SAMARA. — 2015. — Pp. 137–138. [in Russ.]
- Shilina, 2015 — Shilina, M.G. (2015). BIG DATA, OPEN DATA kak novye formaty informatsii: sushchnost', kharakteristiki, osobennosti primeneniya v zhurnalizme [BIG DATA, OPEN DATA as new formats of information: essence, characteristics, application features in journalism] // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Filologiya. — 2015. — No. 3. — Pp. 235–244. [in Russ.]
- Yakovlev, 2015 — Yakovlev, V.S. (2015). BIG DATA [BIG DATA] // Tekhnika i tekhnologii: rol' v razvitiy sovremennogo obshchestva. — 2015. — No. 6. — Pp. 83–90. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 21–35  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>

## EVALUATION OF MPEG-2 FAMILY CODECS

*S. Safin<sup>1</sup>, Y. Bagdollauly<sup>1\*</sup>, Jia Wei<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Harbin University of Commerce, Harbin, China.

E-mail: [y.bagdollauly@gmail.com](mailto:y.bagdollauly@gmail.com)

**Rafail Safin** — PhD, Associate Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [safin.rafail@mtgu.edu.kz](mailto:safin.rafail@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;

**Yessen Bagdollauly** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [y.bagdollauly@gmail.com](mailto:y.bagdollauly@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

**Jia Wei** — Senior Lecturer, Harbin University of Commerce, Harbin, China

E-mail: [313023306@qq.com](mailto:313023306@qq.com), <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© R. Safin, Y. Bagdollauly, Jia Wei

**Abstract.** This study investigates the quality of MPEG-2 decoders when decoding video streams with different levels of distortion. The relevance of this research is due to the widespread use of MPEG-2 in satellite and digital television, as well as in video playback from DVDs and other media, where streams may contain errors. The aim of the study is to comparatively evaluate the resilience of various MPEG-2 decoders to corrupted streams and to identify factors affecting visual decoding quality. To achieve this goal, the following tasks were performed: encoding standard test video sequences, generating streams with controlled errors, decoding with various MPEG-2 decoders, assessing quality using the per-frame Y-PSNR metric, and classifying decoders according to their error-handling capabilities. Experiments were repeated 100 times for each bit error probability on the Foreman and Battle sequences ( $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ). Results demonstrated significant differences in visual quality among decoders of the same standard: libavcodec from FFDSHOW provided the best performance due to interpolation of corrupted blocks, whereas InterVideo, BitControl, MainConcept, and Pinnacle decoders exhibited low error resilience. The conclusion confirms the hypothesis regarding differences in error-handling algorithms among MPEG-2 decoders and emphasizes the practical importance of selecting optimal decoders for operation under unreliable transmission conditions. The results can be applied in DVB equipment design and in developing video stream quality testing methodologies.

**Keywords:** MPEG-2, decoder, video stream, errors, Y-PSNR, resilience

**For citation:** R. Safin, Y. Bagdollauly, Jia Wei. EVALUATION OF MPEG-2 FAMILY CODECS//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 21–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>

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

## MPEG-2 КОДЕКТЕР ОТБАСЫН ТЕСТІЛЕУ

*Р. Сафин<sup>1</sup>, Е. Бағдоллаұлы<sup>1\*</sup>, Цзя Вэй<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Харбин коммерция университеті, Харбин, Қытай.



E-mail: y.bagdollauly@gmail.com

**Рафаиль Сафин** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан

E-mail: safin.rafail@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;

**Есен Бағдоллаұлы** — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

**Цзя Вэй** — аға оқытушы, Харбин коммерция университеті, Харбин, Қытай

E-mail: 313023306@qq.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй

**Аннотация.** Бұл жұмыста MPEG-2 декодерлерінің әртүрлі бұрмаланған бейнеағындарды декодтау кезінде жұмыс сапасын бағалау мәселесі қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі MPEG-2-нің спутниктік және сандық теледидарларда, сондай-ақ DVD және басқа тасымалдаушылардағы бейнені ойнату кезінде ағындарда қателіктер болуы мүмкіндігінен туындайды. Зерттеудің мақсаты — MPEG-2 декодерлерінің қателігі бар ағындарға төзімділігін салыстырмалы бағалау және декодтаудың визуалды сапасына әсер ететін факторларды анықтау. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: стандартты тесттік бейнеағындарды кодтау, қателіктері бақыланатын ағындарды генерациялау, әртүрлі MPEG-2 декодерлерін пайдаланып декодтау, Y-PSNR көрсеткіші бойынша сапасын бағалау және декодерлерді қателерді өңдеуге қабілетіне қарай жіктеу. Жұмыс барысында Foreman және Battle бейнеағындарында әрбір қате ықтималдығы үшін 100 рет қайталанатын тәжірибелер жүргізілді ( $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ). Нәтижелер бір стандарттағы декодерлердің визуалды сапасында елеулі айырмашылықтар бар екенін көрсетті: FFDSHOW-дің libavcodec декодері зақымдалған блоктарды интерполяциялау арқылы ең жақсы нәтижелерге жетсе, InterVideo, BitControl, MainConcept және Pinnacle декодерлері қателіктерге төзімділігі төмен екенін көрсетті. Зерттеудің қорытындысы MPEG-2 декодерлеріндегі қателерді өңдеу алгоритмдерінің айырмашылығын растайды және сенімсіз деректер ағындарымен жұмыс істеу кезінде оңтайлы декодерлерді таңдаудың практикалық маңыздылығын көрсетеді. Нәтижелер DVB жабдықтарын жобалау және бейнеағындардың сапасын тестілеу әдістерін әзірлеуде қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** MPEG-2, декодер, бейнеағын, қателік, Y-PSNR, төзімділік

**Дәйексөздер үшін:** Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй. MPEG-2 кодектер отбасын тестілеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 21–35 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>.

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

## ТЕСТИРОВАНИЕ КОДЕКОВ СЕМЕЙСТВА MPEG-2

*Р.Т. Сафин<sup>1</sup>, Е. Бағдоллаұлы<sup>1\*</sup>, Цзя Вэй<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан. Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Харбинский университет коммерции, Харбин, Китай.

E-mail: y.bagdollauly@gmail.com

**Рафаиль Сафин** — PhD, ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: safin.rafail@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1583-0034>;



**Есен Бағдоллаұлы** — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: [y.bagdollauly@gmail.com](mailto:y.bagdollauly@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4322-0762>;

**Цзя Вэй** — старший преподаватель, Харбинский университет коммерции, Харбин, Китай

E-mail: [313023306@qq.com](mailto:313023306@qq.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9096-473X>.

© Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй

**Аннотация.** В данной работе рассматривается проблема оценки качества работы MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с различной степенью искажения. Актуальность исследования обусловлена применением MPEG-2 в спутниковом и цифровом телевидении, а также воспроизведением видео с DVD и других носителей, где потоки могут содержать ошибки. Целью исследования является сравнительная оценка устойчивости различных MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам и выявление факторов, влияющих на визуальное качество декодирования. Для достижения цели поставлены следующие задачи: кодирование стандартных тестовых видеопоследовательностей, генерация потоков с контролируемыми ошибками, декодирование с использованием различных MPEG-2 декодеров, оценка качества по кадровой метрике Y-PSNR и классификация декодеров по способности обработки ошибок. В ходе работы проведены многократные эксперименты (100 повторов для каждой вероятности ошибок) на видеопоследовательностях Foreman и Battle с вероятностями инверсии бита  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  и  $10^{-6}$ . Полученные результаты показали, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по визуальному качеству: libavcodec от FFDSHOW демонстрирует наилучшие показатели за счет интерполяции поврежденных блоков, в то время как декодеры InterVideo, BitControl, MainConcept и Pinnacle показывают низкую устойчивость к ошибкам. Заключение исследования подтверждает выдвинутую гипотезу о различиях алгоритмов обработки ошибок в MPEG-2 декодерах и подчеркивает практическую значимость выбора оптимальных декодеров для работы в условиях ненадежной передачи данных. Результаты могут быть использованы для проектирования оборудования DVB и разработки методов тестирования качества видеопотоков.

**Ключевые слова:** MPEG-2, декодер, видеопоток, ошибки, Y-PSNR, устойчивость

**Для цитирования:** Р. Сафин, Е. Бағдоллаұлы, Цзя Вэй. Тестирование кодеков семейства MPEG-2//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 21–35. (На англ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.002>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Современные технологии передачи видео предъявляют высокие требования к качеству декодирования видеопотоков, особенно в условиях возможных ошибок канала передачи. Это актуально для спутникового вещания, цифрового телевидения (DVB) и воспроизведения видео с носителей, таких как DVD. Несмотря на широкое распространение стандарта MPEG-2, большинство существующих исследований ограничиваются анализом работы декодеров в идеальных условиях передачи, тогда как в реальных сценариях потоки могут содержать ошибки, существенно влияющие на визуальное качество и стабильность декодирования (Markosyan, 2017: 386).

Объектом исследования являются видеодекодеры стандарта MPEG-2, а предметом — методы их работы с искаженными потоками. Цель исследования заключается в сравнительной оценке качества работы различных MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с ошибками и выявлении факторов, влияющих на визуальное качество воспроизведения.

В рамках исследования были поставлены следующие задачи:



- Провести кодирование стандартных видеопоследовательностей (Foreman, Battle) в формат MPEG-2 с контролируемым битрейтом и параметрами;
- Сгенерировать искаженные видеопотоки с различной вероятностью битовых ошибок, имитирующих реальные условия передачи данных по спутниковым каналам;
- Декодировать искаженные потоки различными декодерами (ElecCard, BitControl, DScaler, ffdshow, MainConcept, Pinnacle, InterVideo) и оценить качество полученных видеопоследовательностей с использованием объективных метрик, таких как Y-PSNR;
- Проанализировать результаты тестирования и классифицировать декодеры по их способности работать с ошибочными потоками;
- Определить оптимальные декодеры для работы в условиях ненадежных каналов передачи, обеспечивающие наилучшее визуальное качество.

Методы исследования включают многократное тестирование видеопотоков на компьютерах с различной конфигурацией, использование специализированных программных средств для генерации ошибок и расчета метрик качества видео. Для кодирования использовался TMPGEnc с постоянным битрейтом 3 Мбит/с, сборки в MPEG-2 Transport Stream — ElecCard XMuxer Pro, а искажения вносились с помощью специально разработанной утилиты на основе библиотеки pseudo random number generators. Декодирование выполнялось различными MPEG-2 декодерами, а оценка визуального качества проводилась покадрово по метрике Y-PSNR с усреднением результатов после 100 повторов тестирования (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27).

На основе проведенных экспериментов установлено, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по способности обрабатывать ошибочные видеопотоки. Некоторые декодеры, такие как libavcodec от ffdshow, обеспечивают высокое визуальное качество за счет интерполяции искаженных блоков, в то время как другие декодеры (InterVideo, BitControl, MainConcept, Pinnacle) показывают низкое качество или не могут корректно декодировать потоки при высокой вероятности ошибок (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27). Такие различия объясняются тем, что стандарт MPEG-2 лишь задает общие подходы к восстановлению после ошибок, не регламентируя их жестко, что оставляет производителям декодеров пространство для реализации собственных алгоритмов.

Значение данного исследования заключается в практической возможности выбора декодеров для работы с ошибочными потоками, оценки надежности оборудования DVB и прогнозирования качества видеопередачи в реальных условиях. Выявленные закономерности позволяют более точно моделировать работу декодеров при проектировании систем спутникового и цифрового телевидения, а также при воспроизведении видео с поврежденных носителей.

Таким образом, проведенное исследование восполняет существующий пробел в оценке работы MPEG-2 декодеров при ошибочных потоках, а предложенные методы тестирования и анализа могут быть использованы для дальнейших исследований в области надежной цифровой передачи видео.

#### **Материалы и методы**

Объектом исследования являются видеodeкодеры стандарта MPEG-2, используемые для декодирования видеопотоков с различными уровнями ошибок. В качестве исследуемых декодеров были выбраны: ElecCard MPEG-2 Demultiplexer, BitControl, DScaler, libavcodec от FFDSHOW, MainConcept, Pinnacle и InterVideo (ElecCard, 2006: 13; TMPGEnc, 2005: 23; AviSynth, 2004: 25; VirtualDub, 2003: 15; BitControl, 2005: 30; FFDSHOW, 2006: 34; DScaler, 2004: 27).

В качестве видеоматериала использовались стандартные тестовые последовательности:

- Foreman — разрешение 352×288, 300 кадров, цветовое пространство YV12, частота кадров 30 fps, прогрессивный формат;

- Battle — разрешение и параметры соответствуют стандартным тестовым последовательностям MPEG-2.

- Кодирование видеопотоков выполнялось с помощью TMPGEnc версии 2.5 с постоянным битрейтом 3 Мбит/с и настройками по умолчанию. Сборка потоков в MPEG-2 Transport Stream проводилась с использованием Elecard X Mixer Pro версии 1.1. Для внесения случайных ошибок в потоки использовалась специально разработанная утилита на основе открытой библиотеки генераторов случайных чисел randoma.lib.

Тестирование проводилось на двух конфигурациях персональных компьютеров:

- процессор Pentium 4 2.8 GHz с Hyper Threading;

- операционная система Windows 2000 Pro SP4;

- память 1 Gb;

- видеоускоритель ATI Radeon 9600;

- жесткий диск 2×80 Gb ATA100.

Предлагаемая гипотеза заключается в следующем: качество декодирования MPEG-2 видеопотоков с ошибками зависит не только от типа и вероятности ошибок в потоке, но и от алгоритмов обработки ошибок, реализованных в конкретных декодерах. Следовательно, декодеры одного стандарта могут демонстрировать существенные различия по визуальному качеству воспроизведения в условиях ошибочных потоков.

Этапы исследования:

- Кодирование исходных видеопоследовательностей в MPEG-2 Elementary Stream с постоянным битрейтом.

- Сборка потоков в MPEG-2 Transport Stream.

- Внесение случайных битовых ошибок с вероятностями  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  для Foreman и  $10^{-5}$  для Battle. Первый заголовок потока всегда сохранялся.

- Декодирование искаженных потоков различными MPEG-2 декодерами.

- Оценка визуального качества декодированных последовательностей с помощью объективной метрики Y-PSNR на покадровой основе. Для кадров, которые декодер не смог распаковать, устанавливалось значение метрики 0.

- Повторение экспериментов 100 раз для усреднения результатов и исключения случайного влияния позиции ошибки в потоке.

- Сравнение усредненных значений Y-PSNR для всех декодеров и классификация их по способности работы с ошибочными потоками.

Методы исследования:

- Экспериментальный метод — кодирование и декодирование видеопоследовательностей с контролируемыми параметрами и вероятностью ошибок.

- Метод объективной оценки качества — покадровый расчет Y-PSNR (peak signal-to-noise ratio) для измерения различий между исходным и декодированным видеопотоком.

- Статистический метод — многократное повторение эксперимента (100 раз) и усреднение результатов для получения достоверной оценки качества.

- Сравнительный анализ — сопоставление работы разных декодеров и выявление закономерностей их работы с ошибочными потоками.

Метод классификации — распределение декодеров по классам в зависимости от способности обрабатывать поврежденные видеопотоки, визуальных артефактов и устойчивости к высоким вероятностям ошибок.

Новизна работы заключается в комплексной оценке устойчивости современных MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам с контролируемыми вероятностями битовых ошибок, а также в предложении методики системного тестирования с покадровым анализом метрики Y-PSNR. Полученные результаты позволяют не только выявить различия в алгоритмах обработки ошибок у разных декодеров, но и дать рекомендации по выбору

декодеров для работы в реальных условиях передачи видео, включая спутниковые каналы и цифровое телевидение DVB.

#### **Результаты и обсуждение**

Основной задачей ставилась сравнительная оценка качества работы декодеров стандарта MPEG-2 при декодировании потоков с ошибками. Это актуально для спутникового вещания и, в меньшей степени, для проигрывания видео с DVD.

Правила тестирования:

а) при помощи TMPGEnc последовательность кодировалась в MPEG-2 Elementary Stream с постоянным битрейтом 3 мбит/с и с остальными настройками по умолчанию;

б) при помощи Eledcard Xmuxer Pro данный поток собирался в MPEG-2 Transport Stream;

в) при помощи специально написанной утилиты данные подвергались случайному искажению. Вероятность внесения битовых ошибок регулировалась. Первый заголовок потока всегда сохранялся в целости;

г) искаженные данные декодировались разными декодерами и полученные видеопоследовательности сравнивались при помощи объективных метрик с исходными декодированными последовательностями;

д) для получения более адекватного результата процесс внесения ошибок, декодирования и подсчета метрик повторялся 100 раз. Это обусловлено тем, что возможность эффективного исправления или смягчения влияния ошибки во многом зависит от ее местоположения в потоке;

е) если декодер не мог распаковать кадр, в результирующую последовательность подставлялся кадр серого цвета. Для покадрового сравнения значение метрики Y-PSNR для таких кадров устанавливалось равным 0;

ж) данные усреднялись.

Для тестирования DirectShow кодеков использовались следующие программные продукты и модули:

а) GraphEdit версии 1.33133;

б) AviSynth версии 2.55;

в) VirtualDub версии 1.6.14;

г) TMPGEnc версии 2.5;

д) Eledcard Xmuxer pro версии 1.1;

е) Eledcard MPEG-2 Demultiplexer версий 2.0b2 и 1.0.47.

В предварительной части данного тестирования trial-версия Eledcard Demultiplexer показала хорошие результаты, и по просьбе авторов компания Eledcard предоставила для данного тестирования полную версию Eledcard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b:

а) при написании утилиты генерации ошибок была использована открытая библиотека randoma.lib из набора Pseudo random number generators3;

б) для расчета всех метрик использовался специально подготовленный для тестирования вариант программы MSU Video Quality Measure4.

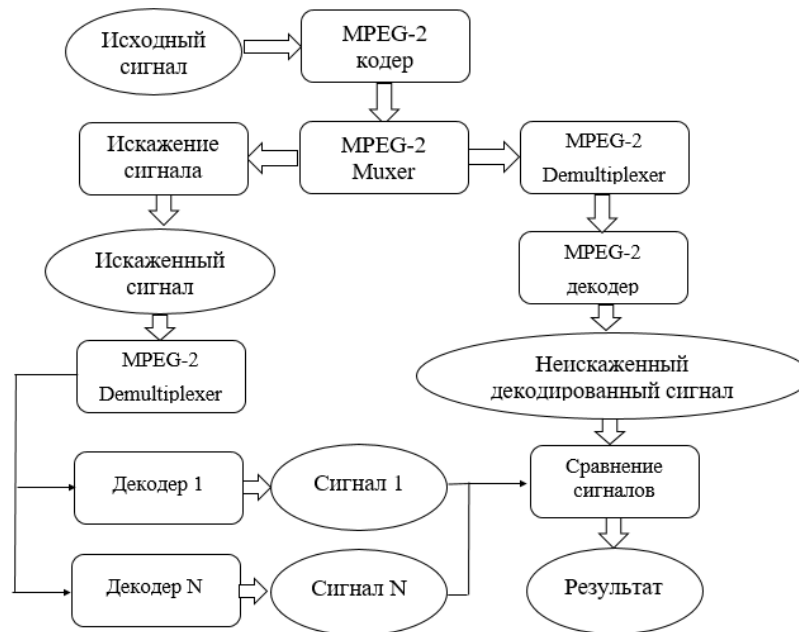


Рис. 1. Схема проведения тестирования декодеров

Для тестирования использовались два компьютера со следующей конфигурацией (Песков, 2008а: 16–19):

- а) процессор: Pentium 4, 2.8 GHz with Hyper Threading;
- б) операционная система: Windows 2000 Pro, SP4;
- в) память: 1Gb;
- г) видео ускоритель: ATI Radeon 9600;
- д) жёсткий диск: 2x80Gb ATA100.

Название последовательности foreman. Разрешение 352x288. Число кадров 300. Цветовое пространство YV12. Частота кадров 30. Источник Стандартная последовательность, прогрессивный формат.

Декодеры:

- а) BitControl;
- б) DirectShow декодер;
- в) версия 1.5.0.251;
- г) при работе повышает яркость видеопоследовательности.

Основной принцип данной части тестирования: разные декодеры декодируют один и тот же искаженный поток.

В качестве декодера для декодирования исходного неискаженного сигнала использовался декодер от компании Elicard. Это объясняется тем, что почти все декодеры распаковали неповрежденный поток визуально одинаково (за исключением декодера BitControl) – значение метрики Y-PSNR для них от 60 до 100 дБ. Для сравнения сигналов для декодера от BitControl при декодировании неискаженного потока также использовался декодер от BitControl (Песков, 2008а: 16–19).

Тестирование проводилось на двух видеопоследовательностях:

- а) Foreman;
- б) Battle.

На последовательности Foreman кодированный поток подвергался искажениям с вероятностями инверсии бита  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ . Данные вероятности были выбраны, как соответствующие типовым вероятностям искажения при спутниковой передаче при использовании ненадежного канала. На последовательности Battle кодированный поток подвергался искажениям с вероятностью инверсии бита  $10^{-5}$ . Для измерения качества

декодированного видео использовалась метрика PSNR. PSNR (peak-to-peak signal-to-noise ratio) – это классическая метрика для измерения качества сжатого видео. Для двух картинок  $x_i, j$  и  $y_i, j$  значение метрики вычисляется по следующей формуле:

$$d(X, Y) = 10 \cdot \log_{10} \frac{255^2 \cdot n^2}{\sum_{i=1, j=1}^{n, n} (x_{ij} - y_{ij})^2} \quad (1)$$

Несмотря на то, что эта метрика в общем случае не отражает восприятие человеком искажений картинки, на протяжении последних десятилетий она является основным общепринятым средством для оценки качества работы видеокодеков. Последовательность “Foreman” Покадровые значения метрики. Поскольку проводилось 100 запусков и измерений для каждой вероятности ошибок для всех декодеров, то привести все графики не представляется возможным и разумным. В данной работе приведено по одному графику покадрового значения метрики Y-PSNR для каждой из трех вероятностей ошибок. Если декодер не мог декодировать кадр, то в поток записывался кадр. Серого цвета, значение метрики для таких кадров низкое. Для наглядности визуализации покадровых метрик для пропущенных кадров принято нулевое значение метрики. Perframe Y-PSNR Frame number Y-PSNR, dB BitControl Dscaler Elecard FFDSHOW InterVideo Ligos MainConcept Pinnacle (Песков, 2008б: 80–84).

На Рисунке 2 отсутствуют декодеры от компаний InterVideo, Pinnacle и MainConcept по причине того, что данные декодеры не смогли распаковать поток с вероятности ошибок  $10^{-4}$ . Декодер от компании InterVideo пропустил все кадры, а декодеры от компаний MainConcept и Pinnacle не смогли открыть такой поток. Выше качество. Frame number Y-PSNR, дБ (Markosyan, 2017: 386–389).

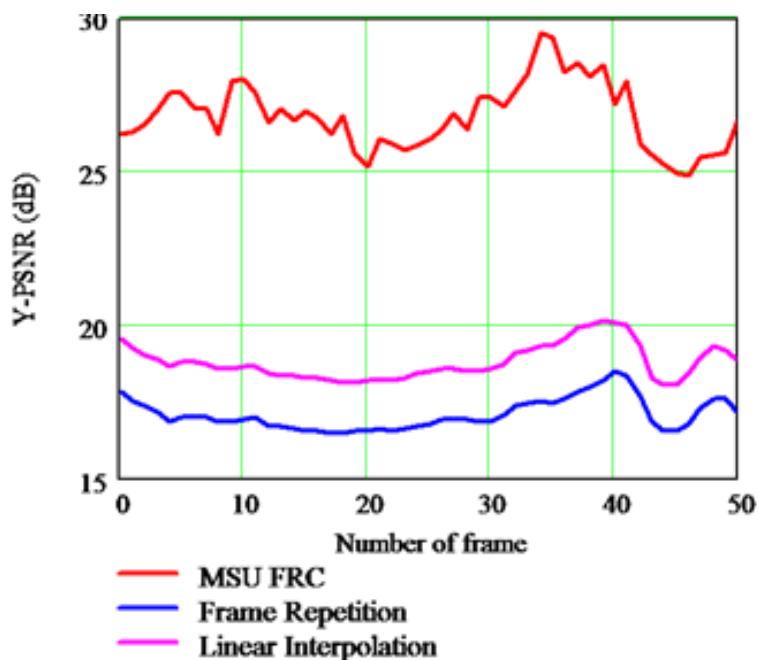


Рис. 2. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита  $10^{-4}$  последовательность “Foreman”

Периодичность значений метрики Y-PSNR для декодера от компании Inter Video объясняется тем, что данный декодер в целом плохо работает с искаженным потоком, и для данных, представленных на Рисунке 3, результат его работы следующий: часть кадров не декодирована – серые кадры (значение метрики нулевое), а другая часть представляет собой

повторяющиеся куски, состоящие из одних и тех же кадров. Perframe Y-PSNR. Frame number. Y-PSNR, дБ.

При анализе графика на Рисунке 3 надо учитывать, что значение метрики PSNR равное 100 дБ означает полную идентичность двух кадров, а значения, свыше 50 дБ означают, что кадры визуально идентичны, хотя и имеют незначительные различия (Песков, 20086: 80–84).

Для декодирования неискаженного потока был выбран декодер от компании Elecard и поэтому на некоторых кадрах значение метрики Y-PSNR для данного декодера равно 100 дБ, в то время, как другие декодеры достигают только дБ. Но это мало сказывается на среднем значении для последовательности. В ходе проведенного исследования было замечено, что декодеры от компаний MainConcept и Pinnacle дают очень похожие результаты.

Выводы:

а) высокое качество декодированных последовательностей при использовании декодера `ffdshow` объясняется тем, что этот декодер заменяет ошибочные блоки интерполяцией соседних блоков;

б) низкое качество `BitControl` объясняется тем, что в декодированной последовательности произошел сдвиг кадров;

в) декодер от `InterVideo` не смог декодировать ни одного кадра видеопоследовательности при вероятности ошибок  $10^{-4}$ ;

г) декодеры от `MainConcept` и `Pinnacle` декодировали только несколько первых кадров;

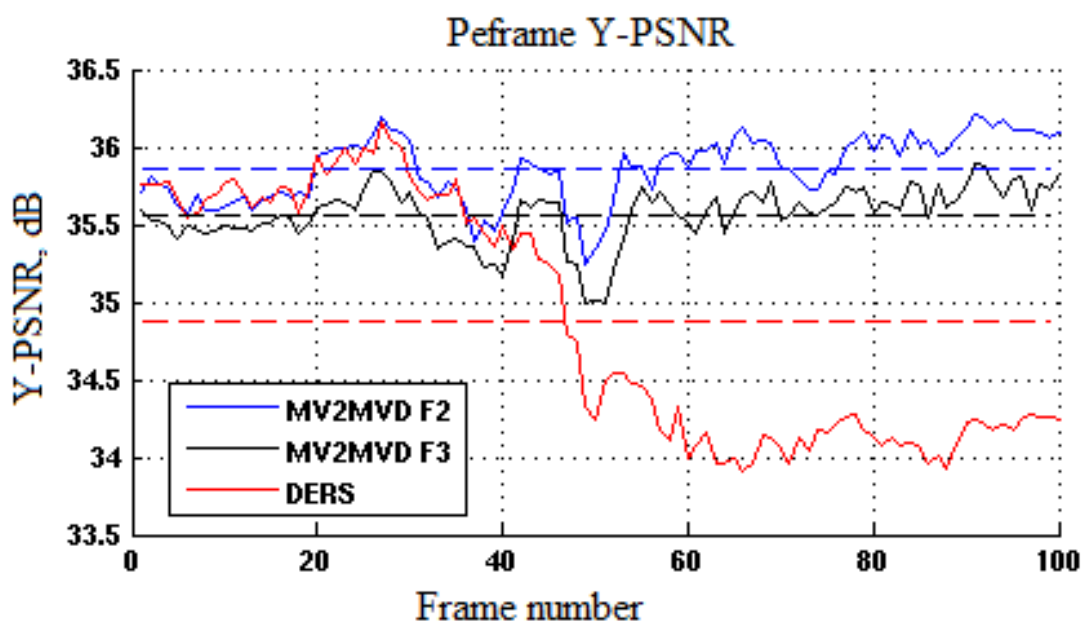


Рис. 3. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита  $10^{-5}$  последовательность "Foreman"

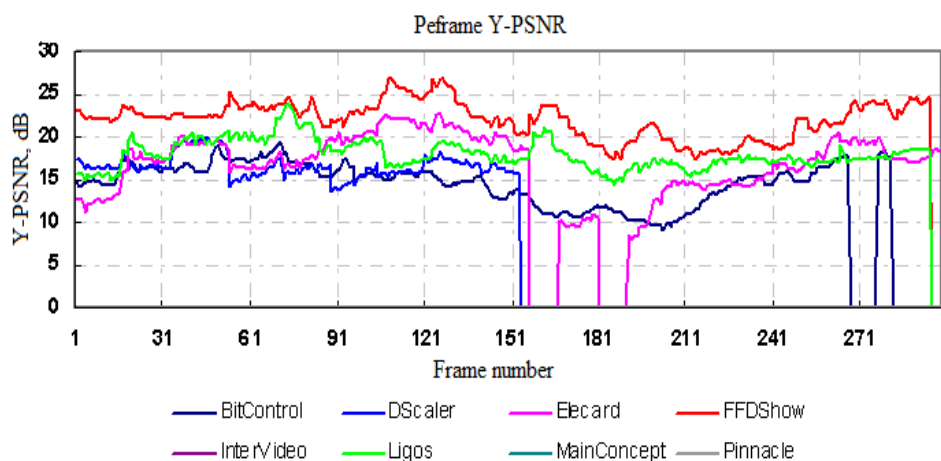


Рис. 4. Покадровый Y-PSNR, вероятность инверсии бита  $10^{-6}$  последовательность “Foreman”

д) остальные декодеры не обрабатывают ошибочные блоки, отображая их без изменений (Песков, 2008б: 80–84).

Декодер от InterVideo пропустил почти все кадры, оставив только несколько. Существует широко распространенное мнение, что кодеки одного стандарта отличаются крайне незначительно, все декодеры работают одинаково. Проведенное исследование убедительно показывает, что это не так. В частности, производители декодеров реализуют в своих продуктах различные способы работы с искаженным видеопотоком. Некоторые декодеры не рассчитаны на работу в ненадежных средах передачи данных, и качество декодированного видео очень низкое. Причина различий в декодерах следующая: стандарт MPEG-2 предлагает некоторые способы восстановления после ошибок, но эти способы жестко не оговорены в стандарте. Протестированные декодеры можно разделить на пять классов:

а) первый класс содержит только один декодер – libavcodec от ffdshow – этот декодер показал наилучший визуальный результат при работе с искаженным видеопотоком за счет того, что заменял искаженные блоки интерполированными;

б) во втором классе три декодера: Eiecard, Ligos и DScaler. Они могут декодировать поврежденный поток с визуальными артефактами даже при высокой вероятности ошибок;

в) третий класс состоит из двух декодеров: MainConcept и Pinnacle. Эти декодеры могут декодировать поврежденный поток, давая небольшие визуальные артефакты, но они не могут декодировать поток с высокой вероятностью ошибок;

г) четвертый класс – декодер от BitControl, программа декодирует искаженный поток с визуальными артефактами, но он повышает общую яркость видеопоследовательности (даже если поток без ошибок) и при декодировании искаженного видеопотока иногда производит сдвиг кадров;

д) пятый класс содержит декодер от InterVideo, который не может корректно декодировать искаженный поток даже при невысокой вероятности ошибок и поэтому не подходит для работы с искаженными видеопотоками. Таким образом, лучшим MPEG-2 декодером для работы с искаженным видеопотоком, как обеспечивающий наилучшее визуальное качество, является декодер libavcodec от FFDshow.

Измерение уровня ошибок в канале DVB как функция отношения C/N ( $S/N$  Eb/No).

При проектировании и оценке аппаратуры и линий связи в стандарте DVB. Необходимо рассмотреть следующие вопросы: при каком C/N отношении STB продолжает работать корректно, такой запас мы имеем при работе с DVB-S или DVB-C сигналами, какова зависимость уровня ошибок (BER) от этих параметров.

Во многих случаях это определённый порог BER для определённого DVB оборудования или чипсета

Различные значения этого параметра для различных видов модуляций.

DVB-S (QPSK) –имеет два уровня кодозащиты : Viterbi и Reed Solomon (RS).

DVB-C (nQAM)- только один уровень. Графики, полученные ниже иллюстрируют эти зависимости для разных типов модуляции. Так как достаточно сложно сгенерировать поток DVB с определённым количеством BER, применён более практичный метод изменения C/N и контроля BER.

В сформированный DVB-C и DVB-S сигналы порционно домешивался «белый» шум. Гарантированная точность не более  $\pm 0,25\text{dB}$ .

Наиболее интересная часть этих характеристик находится в зоне  $\text{BER} = 10^{-4}$  до  $10^{-6}$ .

Изменение S/N на 1dB дает изменение BER на порядок.

Далее приведены диаграммы, снятые для DVB-S (QPSK) с различными значениями FEC.

При модуляции DVB-S (QPSK) – где используются две схемы кодозащиты ситуация несколько хуже в плане чувствительности к изменениям S/N. Так при изменениях S/N всего на 0,5dB BER изменяется почти в десять раз.

Вообще участок где BER достигает значения  $10^{-4}$  наиболее критичен так как это зона порога для большинства приёмных устройств DVB.

Преобразование S/N (C/N) to  $E_b/N_0$ .

Часто индицируется значения BER,  $E_b/N_0$  и другие. С учётом нескольких факторов их можно конвертировать между собой:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + k_{\text{FEC}} + k_{\text{QPSK/QAM}} + k_p, \quad (2)$$

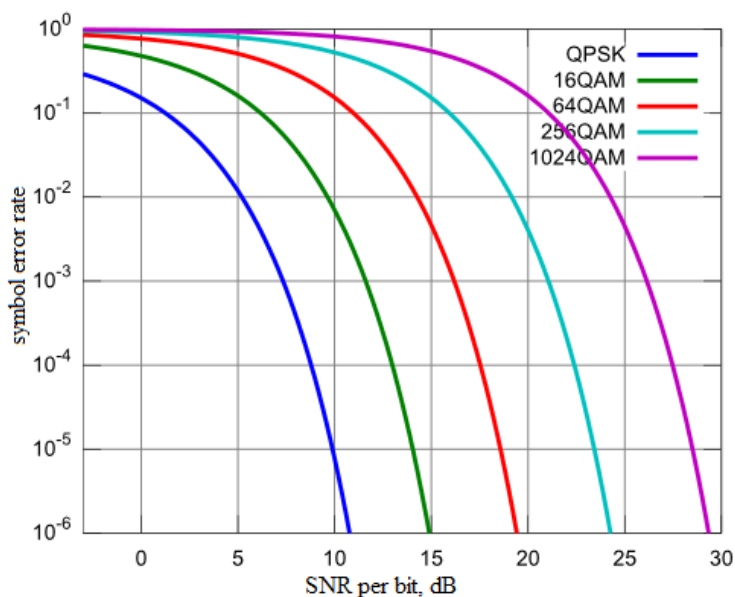


Рис. 5. Зависимости BER от S/N для разных типов модуляции

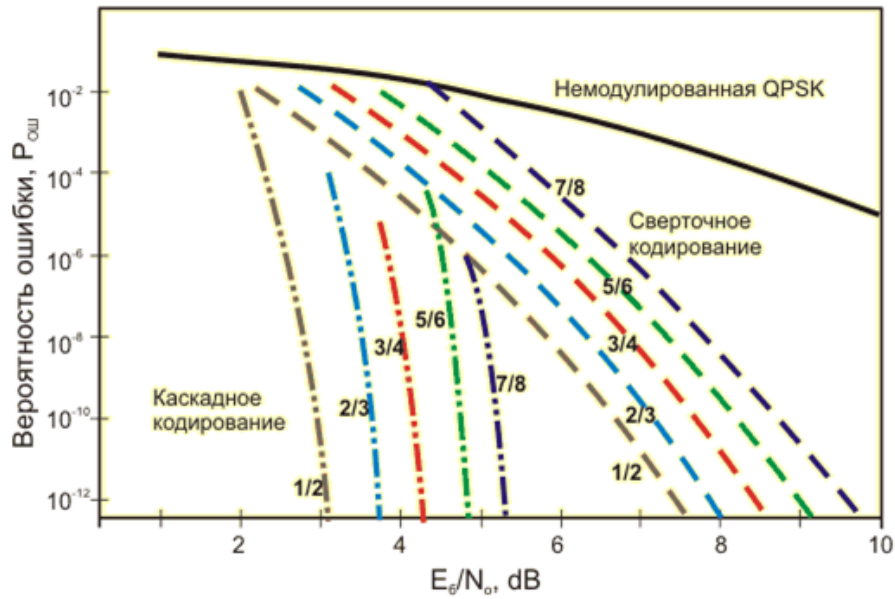


Рис. 6. Диаграммы, снятые для DVB-S (QPSK) с различными значениями FEC

$$\frac{E_h}{N_0} = \frac{C}{N} - k_{\text{FEC}} - k_{\text{QPSK/QAM}} - k_p, \quad (3)$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} - k_{\text{rolloff}} - k_{\text{FEC}} - k_{\text{QPSK/QAM}} - k_p, \quad (4)$$

$$\frac{C}{N} = \frac{S}{N} - k_{\text{rolloff}}. \quad (5)$$

Фактор влияния кода Рида Соломона:

$$k_{\text{FEC}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) = -0,3547 \text{ дБ.}$$

Фактор влияния мапинга (модуляции):

$$k_{\text{QPSK/QAM}} = 10 \cdot \lg(m). \quad (6)$$

Фактор влияния кода Витерби:

$$k_p = 10 \cdot \lg(P). \quad (7)$$

Таблица 1. Данные различных видов модуляции

Mode	m	$k_{\text{QPSK/QAM}}$ , дБ
QPSK	2	3,0103
16 QAM	4	6,0206
64 QAM	6	7,7815
256 QAM	8	9,0309

Таблица 2. Данные различных видов модуляции

Mode	P	$k_p$ , дБ
QPSK	1/2	-3,0103
-/-	2/3	-1,7609
-/-	3/4	-1,2494
-/-	5/6	-0,7918
-/-	7/8	-0,5799
QAM	1	0

Фактор,

$$k_{\text{rolloff}} = 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right). \quad (8)$$

Таблица 3. Данные различных видов стандартов

Mode	$\alpha$	$k_{\text{rolloff}}$ , дБ
DVB-C	0,15	-0,1660
DVB-S	0,35	-0,3977
-/-	0,27	-0,3035

Так же имеет значение где вычисляются эти взаимоотношения. Так, например, для канала распространения QAM:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m). \quad (9)$$

Для демодулятора QAM:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m). \quad (10)$$

Для демодулятора QPSK с измерением после Viterbi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg\left(\frac{188}{204}\right) - 10 \cdot \lg(m) - 10 \cdot \lg(P). \quad (11)$$

Для демодулятора QPSK с измерением до Viterbi:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} - 10 \cdot \lg\left(1 - \frac{\alpha}{4}\right) - 10 \cdot \lg(m) - 10 \cdot \lg(P). \quad (12)$$

Таким образом, различные значения определённого порога BER для различных видов модуляций представлены на Рисунке 5.

Графики, полученные выше иллюстрируют эти зависимости для разных типов модуляции.

### Заключение

Целью проведенного исследования было проведение сравнительной оценки качества работы различных MPEG-2 декодеров при декодировании видеопотоков с различной

степенью искажения, а также выявление факторов, влияющих на визуальное качество воспроизведения. Для достижения этой цели использовались экспериментальные методы, включающие кодирование стандартных видеопоследовательностей с постоянным битрейтом, генерацию случайных ошибок в потоке с различной вероятностью инверсии битов, декодирование искаженных видеопотоков различными декодерами и оценку визуального качества покадрово с помощью метрики Y-PSNR. Многократное повторение экспериментов (100 раз для каждой вероятности ошибок) позволило получить усредненные значения метрик и исключить влияние случайного положения ошибки на результат.

Материалы исследования включали стандартные видеопоследовательности Foreman и Battle, различные MPEG-2 декодеры (ElecCard, BitControl, DScaler, FFDSHOW, MainConcept, Pinnacle, InterVideo) и специализированное программное обеспечение для генерации ошибок и расчета метрик качества. Использование тестовых последовательностей с известными характеристиками и контроль вероятности ошибок позволили реализовать воспроизводимый экспериментальный процесс и обеспечить достоверность полученных результатов.

В ходе исследования подтверждена выдвинутая гипотеза о том, что декодеры одного стандарта существенно отличаются по способности корректно работать с ошибочными видеопотоками. Полученные результаты демонстрируют, что:

- Декодер libavcodec от FFDSHOW обеспечивает наилучшее визуальное качество при декодировании потоков с ошибками за счет интерполяции поврежденных блоков;
- Декодеры ElecCard, Ligos и DScaler корректно декодируют поврежденный поток с визуальными артефактами даже при высокой вероятности ошибок;
- Декодеры MainConcept и Pinnacle способны декодировать поврежденный поток, но не выдерживают высокую вероятность ошибок;
- Декодер BitControl показывает низкое качество декодирования, сопровождающееся сдвигом кадров и повышением яркости изображения;
- Декодер InterVideo не способен корректно декодировать потоки с высокой вероятностью ошибок и не подходит для работы в ненадежных условиях передачи.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что стандарт MPEG-2 предоставляет лишь общие рекомендации по обработке ошибок, оставляя пространство для реализации различных алгоритмов декодирования, что объясняет существенные различия в работе декодеров одного стандарта. Таким образом, результаты работы не только подтверждают исходный тезис о различиях декодеров, но и расширяют научное знание о практической устойчивости MPEG-2 декодеров к ошибочным потокам.

Практическая значимость исследования заключается в возможности выбора оптимальных декодеров для воспроизведения видео в условиях ненадежной передачи данных, включая спутниковое вещание, цифровое телевидение DVB, воспроизведение с DVD и других носителей с потенциальными повреждениями потока. Результаты могут быть использованы при проектировании оборудования и программного обеспечения для декодирования MPEG-2, а также при разработке тестовых методик оценки устойчивости декодеров к ошибкам.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- расширение экспериментов на другие стандарты видеокодирования, включая MPEG-4, H.264/AVC и HEVC, для оценки устойчивости к ошибочным потокам;
- анализ работы декодеров в условиях реальных каналов передачи, включая DVB-S, DVB-C и IPTV, с учетом влияния различных схем кодозащиты;
- разработку методик автоматического выбора оптимального декодера в зависимости от типа канала передачи и вероятности ошибок;
- создание адаптивных алгоритмов декодирования, способных динамически корректировать обработку поврежденных блоков для повышения визуального качества видео.

Таким образом, на основании проведенного исследования реализованы цели и методы работы: экспериментальная проверка гипотезы о различиях MPEG-2 декодеров подтверждена, выявлены количественные и качественные различия в обработке ошибок, классифицированы декодеры по степени устойчивости к поврежденным потокам. Результаты исследования позволяют обобщить существующие знания в области видеокодирования, подтвердить истинность выдвинутого тезиса и создать научную базу для дальнейших исследований и практического применения в цифровом видеовещании и системах воспроизведения видео.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Песков, 2008a — Песков С.Н., Подольнова А.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H // Журнал «Теле-Спутник». — 2008. — 5(151). — С. 16–19. [Russ.]
- Песков, 2008б — Песков С.Н., Подольнова А.Н. Расчет напряженности поля, создаваемой передатчиком // Журнал «Теле-Спутник». — 2008. — 8(154). — С. 80–84. [Russ.]
- Markosyan, 2017 — Markosyan M.V., Safin R.T., Artyukhin V.V., Satimova E.G. Determination of the Eb/N0 Ratio and Calculation of the Probability of an Error in the Digital Communication Channel of the IP-Video Surveillance System // Conference Computer Science and Information Technologies. — Armenia, Yerevan, September 25-29. — 2017. — P. 386–389. [Eng.]
- Elecard, 2006 — Elecard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b Manual. — Elecard. — 2006. — 24 p. [Eng.]
- TMPGEnc, 2005 — TMPGEnc Video Mastering Works 2.5 User Manual. — Pegasys Inc., 2005. — 120 p. [Eng.]
- AviSynth, 2004 — AviSynth 2.5 Documentation. — Avisynth.org. — 2004. — 30 p. [Eng.]
- VirtualDub, 2003 — VirtualDub 1.6.14 User Guide. — Avery Lee. — 2003. — 40 p. [Eng.]
- BitControl, 2005 — BitControl MPEG-2 Decoder Manual. — BitControl Ltd. — 2005. — 50 p. [Eng.]
- FFDShow, 2006 — FFDShow MPEG-2 Decoder Documentation. — FFDShow Team. — 2006. — 60 p. [Eng.]
- DScaler, 2004 — DScaler MPEG-2 Decoder Manual. — DScaler Project. — 2004. — 60 p. [Eng.]

#### REFERENCES

- Peskov, 2008a — Peskov, S.N., Podolyanova, A.N. (2008). Raschet zony pokrytiya dlya tsifrovogo efirmogo veshchaniya DVB-T/H [Calculation of Coverage Area for Digital Terrestrial Broadcasting DVB-T/H] // Zhurnal "Tele-Sputnik". — 2008. — 5(151). — Pp. 16–19. [in Russ.]
- Peskov, 2008b — Peskov, S.N., Podolyanova, A.N. (2008). Raschet napryazhennosti polya, sozdavaemoy peredatchikom [Calculation of Field Strength Created by a Transmitter] // Zhurnal "Tele-Sputnik". — 2008. — 8(154). — Pp. 80–84. [in Russ.]
- Markosyan, 2017 — Markosyan, M.V., Safin, R.T., Artyukhin, V.V., Satimova, E.G. (2017). Determination of the Eb/N0 Ratio and Calculation of the Probability of an Error in the Digital Communication Channel of the IP-Video Surveillance System // Conference Computer Science and Information Technologies. — Armenia, Yerevan, September 25-29. — 2017. — Pp. 386–389. [in Eng.]
- Elecard, 2006 — Elecard (2006). Elecard MPEG-2 Demultiplexer 2.0b Manual. — Elecard. — 2006. — 24 p. [in Eng.]
- TMPGEnc, 2005 — Pegasys Inc. (2005). TMPGEnc Video Mastering Works 2.5 User Manual. — Pegasys Inc. — 2005. — 120 p. [in Eng.]
- AviSynth, 2004 — AviSynth.org. (2004). AviSynth 2.5 Documentation. — AviSynth.org. — 2004. — 30 p. [in Eng.]
- Lee, 2003 — Lee, A. (2003). VirtualDub 1.6.14 User Guide. — Avery Lee. — 2003. — 40 p. [in Eng.]
- BitControl, 2005 — BitControl Ltd. (2005). BitControl MPEG-2 Decoder Manual. — BitControl Ltd. — 2005. — 50 p. [in Eng.]
- FFDShow, 2006 — FFDShow Team. (2006). FFDShow MPEG-2 Decoder Documentation. — FFDShow Team. — 2006. — 60 p. [in Eng.]
- DScaler, 2004 — DScaler Project. (2004). DScaler MPEG-2 Decoder Manual. — DScaler Project. — 2004. — 60 p. [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 36–47  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.003>  
UDC 656.2

## SYSTEMATIC ANALYSIS OF CREDIT SCORING MODEL DEVELOPMENT USING PYTHON

*Y.M. Tanzharykov*

RSE on the PHB "Gylym Ordasy" by the Committee of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan.

E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com)

**Tanzharykov Yerzhan Maratovich** — Head of the Information Technology Department. RSE on the PHB "Gylym Ordasy" by the Committee of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan

E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-9343-7284>.

© Y.M. Tanzharykov

**Abstract.** The study topic is credit scoring system in Kazakhstan and the role of personal credit reports. Credit scoring is a statistical method used by banks and financial institutions to evaluate a borrower's creditworthiness. The research includes an analysis of individual and corporate credit reports in Kazakhstan, a comparison of international FICO and VantageScore models, and their impact on credit decisions. The aim of the study is to identify the role of personal credit reports in the lending process, examine borrowers' financial behavior, and analyze credit score evaluation methods. Objectives: 1) to collect and systematize statistics on credit products and personal credit report usage in Kazakhstan; 2) to compare FICO and VantageScore models; 3) to evaluate the impact of personal credit reports on lending conditions; 4) to apply automated analysis to improve credit decision quality. Results show that most borrowers pay insufficient attention to personal credit reports when obtaining credit. Using a personal credit report improves credit terms and cooperation with banks. Python programming language enabled automated data analysis. In conclusion, personal credit reports are crucial for improving lending efficiency, and the study highlights prospects for increasing financial literacy among the population.

**Keywords:** credit, scoring, credit score, personal report, financial literacy, automated analysis

**For citation:** Y.M. Tanzharykov. Systematic Analysis of Credit Scoring Model Development Using Python//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 36–47. (In Kaz.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.003>

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

## PYTHON-ДА НЕСИЕЛІК СКОРИНГТІҢ ҚҰРЫЛЫСЫН ЖҮЙЕЛІ ТАЛДАУ

*Е.М. Танжарыков*

ҚР ҰӘМ ҒК "ҒЫЛЫМ ордасы" ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com)

**Танжарыков Ержан Маратович** — Ақпараттық технологиялар бөлімінің басшысы. ҚР ҰӘМ ҒК "ҒЫЛЫМ ордасы" ШЖҚ РМК

E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-9343-7284>.

© Е.М. Танжарыков



**Аннотация.** Зерттеу тақырыбы – Қазақстандағы несиелік скоринг жүйесі және дербес несиелік есептердің рөлі. Несиелік скоринг – қарыз алушының несие қабілетін бағалау үшін банктер мен қаржы институттары қолданатын статистикалық талдау жүйесі. Бұл зерттеу Қазақстандағы жеке және корпоративтік несие есептерінің құрылымын, халықаралық FICO және VantageScore модельдерін салыстыруды, сондай-ақ кредиттік шешімдерге әсерін талдауды қамтиды. Зерттеудің негізгі мақсаты – несие беру процесінде дербес несиелік есептің рөлін анықтау, несие алушылардың қаржылық мінез-құлқын зерттеу және кредиттік баллды бағалау әдістерін талдау. Міндеттері: 1) Қазақстандағы несиелік өнімдер мен дербес несиелік есепті пайдалану статистикасын жинау және жүйелеу; 2) FICO және VantageScore модельдерін салыстыру; 3) дербес несиелік есептің несие шарттарына әсерін бағалау; 4) автоматтандырылған талдау әдістерін қолдану арқылы кредиттік шешімдер сапасын арттыру. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, халықтың көпшілігі несие алу кезінде дербес несиелік есепке жеткілікті көңіл бөлмейді. Дербес несиелік есепті пайдаланған қарыз алушылар несие шарттарын жақсартуға және банкпен тиімді ынтымақтастық орнатуға қабілетті. Python бағдарламалау тілін қолдану деректерді автоматтандырылған талдауға мүмкіндік берді. Қорытындысында, Қазақстандағы несие берудің тиімділігін арттыру үшін дербес несиелік есептің маңызы анықталып, қаржылық сауаттылықты арттырудың перспективасы ұсынылды.

**Түйін сөздер:** несие, скоринг, кредиттік балл, дербес есеп, қаржылық сауаттылық, автоматтандырылған талдау

**Дәйексөздер үшін:** Е.М. Танжарыков. Python-да несиелік скорингтің құрылысын жүйелі талдау//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 36–47 бет. (Қаз. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.003>.

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

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА НА ЯЗЫКЕ PYTHON

*Е.М. Танжарыков*

РГП на ПХВ "Ғылым ордасы" КН МНВО РК, Алматы, Казахстан.

E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com)

**Танжарыков Ержан Маратович** — Начальник отдела информационных технологий. РГП на ПХВ "Ғылым ордасы" КН МНВО РК  
E-mail: [tanzharykove@gmail.com](mailto:tanzharykove@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-9343-7284>.

© Е.М. Танжарыков

**Аннотация.** Тема исследования – система кредитного скоринга в Казахстане и роль персональных кредитных отчетов. Кредитный скоринг – это статистический метод оценки кредитоспособности заемщика, используемый банками и финансовыми институтами. Исследование охватывает анализ структуры индивидуальных и корпоративных кредитных отчетов в Казахстане, сравнение международных моделей FICO и VantageScore, а также влияние этих систем на кредитные решения. Цель исследования – определить роль персонального кредитного отчета в процессе кредитования, изучить финансовое поведение заемщиков и проанализировать методы оценки кредитного балла. Задачи: 1) сбор и систематизация статистики по использованию кредитных продуктов и персональных кредитных отчетов в Казахстане; 2) сравнение моделей FICO и VantageScore; 3) оценка влияния персонального кредитного отчета на условия кредитования; 4) применение автоматизированного анализа для повышения качества кредитных решений. Результаты

исследования показали, что большинство заемщиков недостаточно учитывают персональный кредитный отчет при получении кредита. Использование персонального отчета улучшает условия кредитования и сотрудничество с банком. Применение Python позволило проводить автоматизированный анализ данных. В заключении подтверждается, что персональные кредитные отчеты имеют ключевое значение для повышения эффективности кредитования и предлагаются перспективы повышения финансовой грамотности населения.

**Ключевые слова:** кредит, скоринг, кредитный балл, персональный отчет, финансовая грамотность, автоматизированный анализ

**Для цитирования:** Е.М. Танжарыков. Системный анализ построения модели кредитного скоринга на языке Python//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 36–47. (На каз.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.003>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Кіріспе

Қазіргі таңда қаржы нарықтарының цифрлануы мен деректерге негізделген шешім қабылдау тетіктерінің дамуы несиелік тәуекелдерді бағалаудың жаңа әдістерін талап етуде (FCBK, 2024б). Осы тұрғыда несиелік скоринг жүйелері кредиторлар үшін қарыз алушының төлем қабілеттілігін жедел әрі объективті бағалаудың негізгі құралына айналып отыр (Investopedia, 2024). Несиелік скоринг қарыз алушыларды іріктеу, дефолт тәуекелін төмендету және қаржы ұйымдарының тұрақтылығын қамтамасыз ету мақсатында кеңінен қолданылады (STAN.KZ, 2023).

Алайда, халықаралық тәжірибеде несиелік есеп пен дербес несиелік рейтингті белсенді пайдалану қалыпты құбылыс болғанымен, Қазақстан Республикасында халықтың басым бөлігі несие алу барысында өзінің несиелік тарихына және дербес несиелік есебіне жеткілікті деңгейде көңіл бөлмейді (FCBK, 2024а; First Credit Bureau, 2024). Бұл жағдай қаржылық сауаттылықтың төмендігімен және несиелік скоринг жүйесінің жұмыс істеу принциптерін терең түсінбеумен байланысты проблемалық ахуалды көрсетеді (National Bank RK, 2023). 2019 жылдың бірінші тоқсанынан бастап 2024 жылдың екінші тоқсанына дейінгі статистикалық деректер несиелік өнімдерге сұраныстың жоғары екенін, ал дербес несиелік есепті пайдалану үлесінің айтарлықтай төмен деңгейде қалып отырғанын дәлелдейді (Brobank.kz, 2024).

Зерттеу тақырыбының өзектілігі – несиелік скоринг модельдерінің құрылымын, олардың Қазақстан жағдайында қолданылу ерекшеліктерін және дербес несиелік есептің қаржы нарығындағы рөлін жүйелі түрде талдаудың жеткіліксіз зерттелуінде. Сонымен қатар, халықаралық FICO және VantageScore модельдерінің әдіснамасын отандық тәжірибемен салыстыра отырып қарастыру практикалық маңызға ие. Бұл зерттеу нәтижелері халықтың қаржылық сауаттылығын арттыруға, сондай-ақ несиелік тәуекелдерді басқару тетіктерін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Зерттеу объектісі – Қазақстан Республикасында қолданылатын несиелік скоринг жүйесі.

Зерттеу пәні – дербес және корпоративтік несиелік есептерді қалыптастыру мен бағалау механизмдері.

Зерттеудің мақсаты – несиелік скоринг жүйесінің құрылымын, негізгі модельдерін және Қазақстандағы қолданылу тиімділігін талдау арқылы дербес несиелік есептің қаржы нарығындағы маңызын ғылыми негіздеу.

Аталған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- несиелік скоринг және дербес несиелік есеп ұғымдарының теориялық негіздерін талдау;
- FICO және VantageScore модельдерінің құрылымдық ерекшеліктерін салыстыру;
- Қазақстандағы несиелік скорингтің қолданылу статистикасын зерттеу;
- дербес несиелік есепті пайдалану деңгейінің төмен болу себептерін анықтау;

– ақпараттық технологиялар мен бағдарламалық құралдарды қолдану мүмкіндіктерін қарастыру.

Зерттеудің әдіснамалық негізін жүйелік талдау, салыстырмалы әдіс, статистикалық деректерді өңдеу және бағдарламалық модельдеу әдістері құрайды. Сонымен қатар Python бағдарламалау тілі мен автоматтандырылған деректерді өңдеу құралдары қолданылды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы – Қазақстан жағдайында несиелік скоринг жүйесін дербес несиелік есеппен байланыстыра отырып кешенді талдау жүргізілуінде. Ал практикалық маңыздылығы – алынған нәтижелерді қаржы ұйымдары, несиелік бюролар және қаржылық сауаттылықты арттыруға бағытталған қолданбалы жобаларда пайдалануға болатындығында.

### **Зерттеу материалдары мен әдістері**

Зерттеу объектісі – Қазақстандағы несиелік скоринг жүйесі, оның ішінде жеке және корпоративтік несие есептері (дербес несиелік есеп және корпоративтік кредиттік есеп).

Зерттеу материалына келесі деректер кіреді:

- Электрондық ресурстар: FCBK (2024a, 2024б), First Credit Bureau (2024), National Bank RK (2023), Halyk Bank (2023), Brobank.kz (2024), STAN.KZ (2023), Forbes Kazakhstan (2024).

- Халықаралық ғылыми деректер: кредиттік скоринг модельдері бойынша Investopedia (2024), Python бағдарламалау тілінің қосымшалары (Python, 2024).

- Статистикалық деректер: 2019–2024 жылдар аралығындағы Қазақстандағы кредиттік өнімдерге сұраныс, несие алушылардың пайыздық үлесі, дербес несиелік есепті алу статистикасы және несие өнімдерін пайдалану көрсеткіштері.

Материал сандық жағынан — мыңдаған жеке тұлғалардың кредиттік тарихы және жүздеген корпоративтік клиенттердің деректері, сапалық жағынан — кредиттік баллды есептеу әдістері, скоринг модельдерінің құрылымы, банктердің тәжірибелік нұсқаулары (FCBK, 2024a; STAN.KZ, 2023).

Зерттеу сұрақтары:

- Қазақстандағы несиелік скоринг жүйесі қалай құрылып, халықаралық модельдер (FICO, VantageScore) қалай қолданылады?

- Дербес несиелік есеп несие беруге шешім қабылдауға және кредит беру шарттарына қалай әсер етеді?

- Халық арасында несие өнімдерін пайдалану және дербес несиелік есепті алу статистикасы қандай?

- Қарыз алушылардың қаржылық сауаттылығын анықтайтын негізгі факторлар қандай?

Гипотеза: Дербес несиелік есепті пайдалану және оған деген ақпараттандыру халықтың қаржылық сауаттылығын арттырады және банктердің несие тәуекелдерін төмендетуге, кредиттік шешімдердің сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Зерттеу кезеңдері:

1) Аналитикалық кезең:

- Несие өнімдері, кредиттік тарихтар және скоринг модельдері бойынша мәліметтерді жинау және жүйелеу (FICO, VantageScore).

- Халық арасында кредиттік өнімдерді пайдалану және дербес несиелік есеп алу деңгейін талдау.

2) Методологиялық кезең:

- Зерттеу схемасын жасау, объект және пәнді анықтау, талдау әдістерін таңдау.

- Несие алушылардың кредиттік қабілетін бағалау критерийлерін қалыптастыру.

3) Эмпирикалық кезең:

- Жиналған деректерге талдау жүргізу: кредиттік баллды есептеу, әртүрлі заемшы категорияларын салыстыру.

- Несие берушілер шешіміне әсер ететін факторларды анықтау.

4) Қорытынды кезең:

- Дербес несиелік есептің несие беру процесіне әсері туралы қорытындылар жасау.
- Банктер мен кредиттік бюроларға практикалық ұсыныстар әзірлеу.

5. Зерттеу әдістері

Зерттеу мақсатына жету үшін қолданылған әдістер:

- Жүйелік және салыстырмалы талдау — кредиттік скоринг құрылымы мен FICO, VantageScore модельдерін салыстыру, Қазақстандағы қолдану ерекшеліктерін зерттеу (FCBK, 2024б; Investopedia, 2024).

- Статистикалық әдіс — кредиттік өнімдер, халықтың несие алу үлесі, дербес несиелік есепті пайдалану көрсеткіштерін өңдеу (National Bank RK, 2023; Brobank.kz, 2024).

- Құжаттық және архивтік талдау — банктер мен кредиттік бюролардың ресми материалдарын және методикалық ұсыныстарын зерттеу (First Credit Bureau, 2024; STAN.KZ, 2023).

- Модельдеу әдісі — Python бағдарламалау тілін қолдана отырып кредиттік тарихты автоматтандырылған талдау және кредиттік балл схемасын құру (Python, 2024).

- Бақылау және эмпирикалық талдау — нақты кредиттік шешімдерді скоринг нәтижелерімен салыстыру.

Зерттеудің жаңалығы — Қазақстанда несиелік скоринг жүйесін кешенді талдау жүргізу:

- Халықаралық FICO және VantageScore модельдерін салыстыру;

- Дербес несиелік есептің қолданылуын қарастыру;

- Python бағдарламалау тілін қолдана отырып кредиттік тарихты автоматтандырылған талдау;

- Халықтың несие алу тәжірибесін статистикалық және сапалық талдау.

Бұл тәсіл несие шешімдерін қабылдаудағы нақты заңдылықтарды анықтауға және қаржылық сауаттылықты арттыруға мүмкіндік береді.

#### **Нәтижелер және талқылау**

Несиелік есеп - тұлғаның немесе шағын, меншік иесі басқаратын кәсіпкерліктің несиелік қабілетін анықтау үшін кредиторлар мен қаржы институттары орындайтын статистикалық талдау. Кредиторлар несиені ұзарту немесе одан бас тарту туралы шешім қабылдауға көмектесу үшін кредиторлар несиелік есеп - қисапты пайдаланады. Несиелік балл ипотека, автонесиелер, несие карталары және жеке несиелер сияқты қаржы өнімдеріне іріктеу мүмкіндігіңізге әсер етуі мүмкін.

Скоринг - клиенттерді бағалайтын және оларға несие беріп-бермейтінін шешетін жүйе. Ал «скоринг» сөзінің өзі ағылшын тілінен аударғанда «балл» дегенге мағынасы келетін сөз. Компания немесе жеке кәсіпкер несие алуға өтініш бергенде, бағдарлама қарыз алушының банктің негізгі талаптарына сәйкестігін тексереді. Бұл бірінші кезеңде төлем жасай алмайтын клиенттер тізімін сейілту үшін қажет.

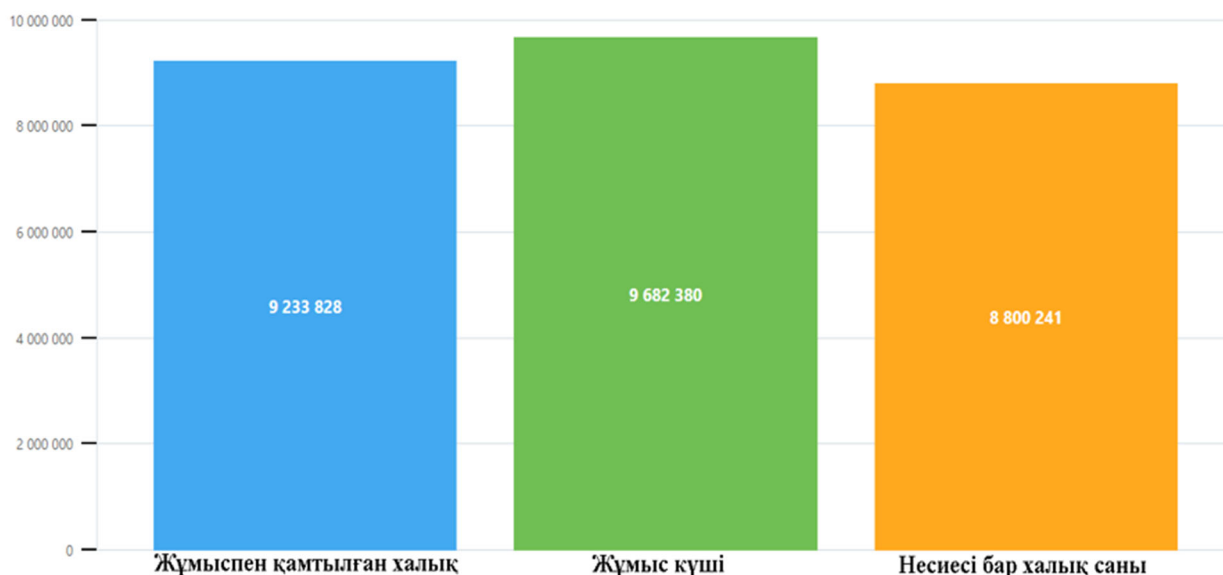
Скоринг жүйесі қарыз алушы туралы ақпаратты, банк талаптарын және статистикалық мәліметтерді салыстыруға негізделген. Әрбір банктің скорингтік бағдарламалары әртүрлі бапталған, бірақ олар ұқсас сұлба бойынша жұмыс істейді:

1. Банк жүйеге қарыз алушыға қойылатын талаптарды сипаттайтын параметрлерді енгізеді.

2. Қарыз алушы өзі туралы ақпарат береді және сауалнаманы толтырады.

3. Скоринг жүйесі клиент ұсынған және басқа дереккөздерден алынған деректерді талдайды. Параметрлердің әрқайсысы белгілі бір ұпай санымен бағаланады, олардың қосындысы баллдық ұпайды құрайды.

4. Баллдық жүйе негізінде шешім қабылданады – егер ол банк белгілеген шекті мәннен жоғары болса, онда шешім оң, аз болса – теріс болады.



Сур. 1. Несиелері бар халықтың үлесі диаграммасы

FICO (Fair Isaac Corporation) – скорингтік шешімдер саласындағы халықаралық көшбасшы. Бүгінгі таңда АҚШ-тағы барлық шешімдер FICO скорингтерімен қабылданады. One FICO® Score – бұл несие беруде, сондай-ақ пәтерлерді, автомобильдерді және басқа да қызметтерді жалға беруде қолданылатын жеке кредиттік скоринг. FICO әлемдегі көптеген несиелік бюролармен, соның ішінде АҚШ, Түркия, Еуропа аймағы, Ресей, Израиль, Таяу Шығыс, Оңтүстік-Шығыс Азия елдерінде және басқа да аймақтарда жұмыс істейді.

Бірінші несиелік бюро 2014 жылдан бастап FICO-ның ресми провайдері болып табылады және Қазақстан, Қырғызстан, Беларусь, Молдова және басқа елдерде FICO скорингтерін таратуға және жүзеге асыруға лицензиясы бар.

**Дербес несиелік рейтинг** - қарыз алушының несиелік тарихына және өзге де дербес деректеріне (мысалы, жасы, отбасылық жағдайы және т.б.) негізделген несие төлеу қабілеттілігін бағалау.

**Дербес несие рейтингін** алғаннан кейін сіз несие тарихыңызды несие берушілер қалай бағалайтынын көре аласыз. Жеке тұлғаларды бағалау үшін төлеушінің сенімділігін анықтайтын балдар қолданылады. Банктік скорингті қалыптастыру принципі **дербес несие рейтингін** қалыптастыру принципіне ұқсас.

Толық корпоративтік несиелік есеп заңды тұлғаның несиелерін беру және өтеу туралы барлық ақпаратты қамтиды.

Корпоративтік несиелік есеп соңғы ақпарат 5 жыл бұрын алынған несие тарихы жайлы ақпаратты қамтымайды.

Өзгерістерді қадағалай отырып, несие тарихындағы қателіктердің алдын алуға және банк ұйымдарымен одан әрі ынтымақтастық орнату үшін сіздің компанияңыздың несиелік рейтингінің төмендеуіне жол бермеуге болады.

Жүздеген мүмкін атрибуттар болғанымен, **FICO және VantageScore** сияқты несиелік есеп модельдері, әдетте, оларды кең санаттарға топтайды. Ақпараттың әр түрі кредиттік балда әр түрлі салмақ алады.

Мұнда несиелік балды анықтау кезінде FICO балы мынаны қарастырады:

- **Төлем тарихы (35 %):** Бұл фактор қарыз алушының өз қарыздары бойынша төлемдерді қаншалықты дәйекті түрде жүзеге асырғанын бағалайды. Әрқашан уақтылы төлемдерді жүзеге асырған қарыз алушы төлемдерді өткізіп алған қарыз алушыдан жоғары балл алады.

- Несиені пайдалану (30 %): Бұл фактор пайдаланылып жатқан қолда бар кредиттің пайыздық үлесін бағалайды. Өзінің қолда бар кредитінің 30 %-дан кемін пайдаланатын қарыз алушы неғұрлым көп пайдаланатындардан жоғары балл алады.

- Несие тарихының ұзақтығы (15 %): Бұл фактор қарыз алушының кредиттік шоттарының қанша уақыт ашылғанын бағалайды. Несие шоттарының ұзақ тарихы жақсы тұрған қарыз алушы несиеге жаңадан келгеннен жоғары балл алады.

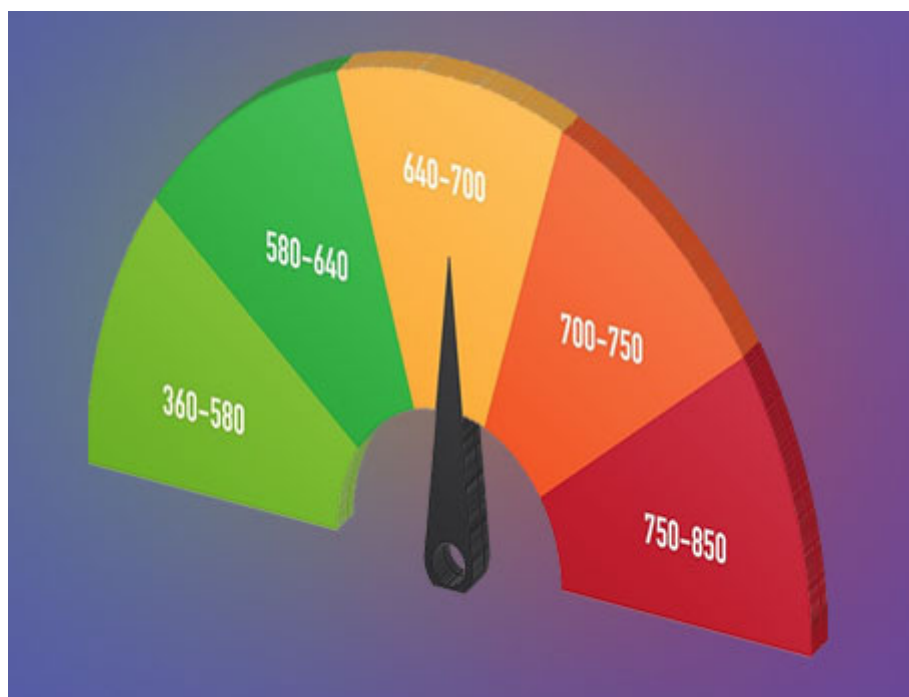
- Кредит шоттарының түрлері (10 %): Бұл фактор несие карталары, несиелер, ипотека сияқты қарыз алушының кредиттік шоттарының түрлерін бағалайды. Кредиттік шоттардың сан алуан араласуы бар қарыз алушы бір ғана шот түрі бар қарыз алушыдан жоғары балл алады.

- Соңғы несиелік сұраулар (10 %): Бұл фактор қарыз алушының несие алуға қаншалықты жиі өтініш бергенін бағалайды. Соңғы несиелік сұрауларды бірнеше рет жасаған қарыз алушы көп жасағаннан жоғары балл алады.

FICO балдарын банктерді, несие карталары компанияларын, ипотекалық несие берушілерді қоса алғанда, кредиторлардың алуан түрлілігі пайдаланады. FICO-ның жақсы балы пайыздық мөлшерлемелердің төмендеуіне және несие шарттарының жақсаруына әкелуі мүмкін, ал нашар бал жоғары пайыздық мөлшерлемелерге және қолайлы шарттардың төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Салыстыратын болсақ, VantageScore мынаны қарастырады:

- Төлем тарихы: 41 %
- Кредиттік тарихтың ұзындығы мен араласуы: 20 %
- Несиені пайдалану: 20 %
- Жаңа несие: 11 %
- Тиесілі қалдықтар: 6 %
- Қолда бар кредит: 2 %



Сур. 2. Қазақстандағы несиелік скоринг жүйесіндегі балл шкаласы

Қазақстанда 0-ден 1000 балға дейінгі шкала қолданылады. Сіздің рейтингіңіз неғұрлым жоғары болса, несие берушілердің алдында қарыз алушы ретіндегі беделіңіз соғұрлым жоғары болады. Жоғары ПКР қолайлы жағдайларға — төмен тарифтерге, үлкен

шектеулерге және жылдам мақұлдауға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Керісінше, төмен рейтинг несиеден бас тартуға немесе аз тиімді шарттармен қарыз алуға әкелуі мүмкін.

1cb.kz мобильді қосымшасы – бұл сіз, тікелей өзіңіздің ұялы телефоныңыздан 1cb.kz-тің барлық қызметтеріне қауіпсіз және ыңғайлы қол жеткізе алатын қосымша.

Жасалу жолында Python бағдарламалау тілі қолданылады.

Таңдалған сайттың суреті егер headless режимінде іске асырсақ жақсы болады. Тек selenium қажет, Headless режимі үшін мен PhantomJS аламын. Кез келген JS үрдісің қолдана аламын.

```
import sys
from selenium import webdriver
from selenium.webdriver.chrome.options import Options
import chromedriver_binary
script_name = sys.argv[0]
options = Options()
options.add_argument('--headless')
driver = webdriver.Chrome(options=options)
try:
    url = sys.argv[1]
    driver.get(url)
    page_width = driver.execute_script('return document.body.scrollHeight')
    page_height = driver.execute_script('return document.body.scrollHeight')
    driver.set_window_size(page_width, page_height)
    driver.save_screenshot('screenshot.png')
    driver.quit()
    print("SUCCESS")
except IndexError:
    print ('Usage: %s URL' % script_name)
```

Мынау таңдалған сайттың <https://www.1cb.kz/> қысқаша бағдарламалық листингісі. Осы код арқылы сайтты мобильді қосымшаға аударуға болады.

Суреттерге су белгілерін орнату кейде Photoshop-қа қарағанда сценарийді іске қосу оңайырақ. Кодтың өзі суреттерімізге су белгілерін қояды.

```
import os
from PIL import Image
def watermark_photo(input_image_path, watermark_image_path,output_image_path):
    base_image = Image.open(input_image_path)
    watermark = Image.open(watermark_image_path). convert("RGBA")
    # add watermark to your image
    position = base_image.size
    newsize = (int(position[0]*8/100),int(position[0]*8/100))
    # print(position)
    watermark = watermark.resize(newsize)
    # print(newsize)
    # return watermark
    new_position = position[0]-newsize[0]-20, position[1]-newsize[1]-20
    # create a new transparent image
    transparent = Image.new(mode='RGBA',size=position,color=(0,0,0,0))
    # paste the original image
    transparent.paste(base_image,(0,0))
    # paste the watermark image
    transparent.paste(watermark,new_position,watermark)
    image_mode = base_image.mode
```

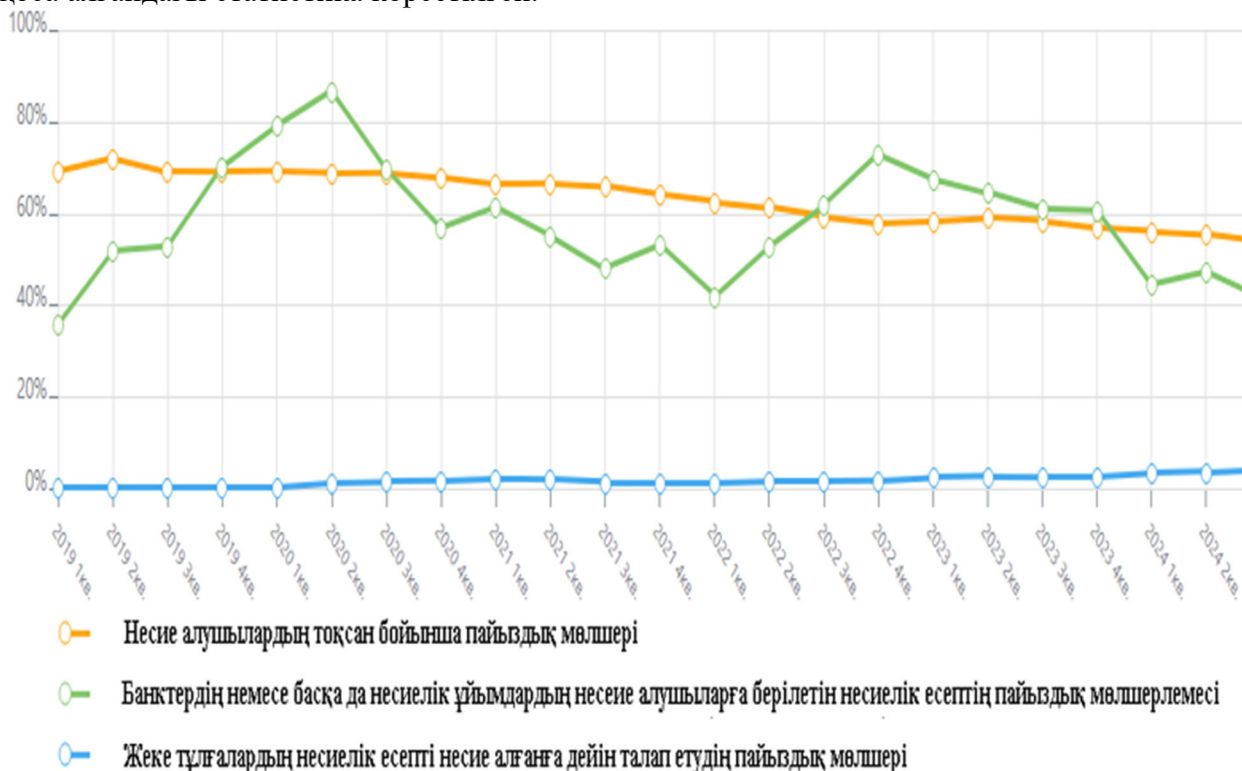
```

print(image_mode)
if image_mode == 'RGB':
    transparent = transparent.convert(image_mode)
else:
    transparent = transparent.convert('P')
transparent.save(output_image_path,optimize=True,quality=100)
print("Saving"+output_image_path+"...")
folder = input("Enter Folder Path:")
watermark = input("Enter Watermark Path:")
os.chdir(folder)
files = os.listdir(os.getcwd())
print(files)
if not os.path.isdir("output"):
    os.mkdir("output")
c = 1
for f in files:

```

if os.path.isfile(os.path.abspath(f)):  
 if f.endswith(".png") or f.endswith(".jpg"):  
 watermark\_photo(f,watermark,"output/"+f)  
 Бұл енді дербес несиелік есепті нақты пайдаланушыға жіберген кезде су белгілерін қоюға арналған қысқаша бағдарламалық листингі.

Зерттеу объектісі ретінде несиелік скорингтің құрылысын жүйелі талдау болғандықтан келесі суретте 2019 жылдың 1 тоқсанынан бастап 2024 жылдың 2 тоқсанын қоса алғандағы статистика көрсетілген.



Сур. 3. Несиелік скорингтің Қазақстан Республикасында пайдалу статистикасы

3-ші суретте көрсетілгендей, мысалы 2024 жылдың 2 тоқсанын алатын болсам, несие алу мөлшері 54 % - ға тең, ал дербес несиелік есепті алу 6 % - дан аспайды. Осыған қарасақ халық несиені алу барысында несиелік есепке көңіл бөлмейді, бұл негізі қаржылық сауатсыздықтың үлкен бір белгісі.

Несие тарихын бақылау - бұл сіздің **несие тарихыңыздағы** өзгерістерді бақылау үшін қажет қызмет. Бұл қызметті шот (**тарих**) бойынша әрбір әрекетке электрондық мекенжайға немесе sms хабарлама келген кездегі смс-банкингпен салыстыруға болады.

### **Қорытынды**

Осы зерттеу жұмысы Қазақстандағы несиелік скоринг жүйесін, оның ішінде дербес және корпоративтік несиесі есептерін кешенді талдауға бағытталды. Зерттеудің негізгі мақсаты – несиесі беру процесінде дербес несиелік есептің рөлі мен әсерін анықтау, кредиттік баллды бағалау әдістерін зерттеу, сондай-ақ Қазақстандағы несиесі алу тәжірибесін талдау арқылы қаржылық сауаттылық деңгейін бағалау болды.

Зерттеу барысында келесі мақсаттар мен әдістер сәтті іске асырылды:

- Материалдарды жинау және жүйелеу: Қазақстандағы негізгі несиесі берушілер мен кредиттік бюролардың ресми деректері, FCBK (2024a, 2024b), First Credit Bureau (2024), National Bank RK (2023), Halyk Bank (2023), Brobank.kz (2024), STAN.KZ (2023) және Forbes Kazakhstan (2024) сайттарынан алынған ақпарат талданды. Сондай-ақ халықаралық тәжірибені ескере отырып, FICO және VantageScore моделдері салыстырмалы түрде зерттелді (Investopedia, 2024).

- Статистикалық талдау: 2019–2024 жылдар аралығындағы несиесі өнімдерін пайдалану, дербес несиелік есепті алу, несиесі тарихын бақылау көрсеткіштері сандық жағынан талданды (National Bank RK, 2023; Brobank.kz, 2024).

- Автоматтандырылған талдау және модельдеу: Python бағдарламалау тілін қолдана отырып, 1cb.kz сайтынан Headless режимде деректер алынды, суреттерге су белгілері қойылып, кредиттік тарих визуализацияланды (Python, 2024). Бұл тәсіл несиесі тарихын бақылау және кредиттік шешімдер қабылдауда тиімділікті арттырды.

- Эмпирикалық және салыстырмалы талдау: Дербес несиелік есепті алған қарыз алушылар мен алмаған қарыз алушылар арасындағы айырмашылықтар анықталды, кредиттік баллды есептеудегі негізгі факторлар қарастырылды (FCBK, 2024a; STAN.KZ, 2023).

Осы әдістердің комбинациясы зерттеу мақсатына жетуге және несиесі беру процесіндегі маңызды факторларды жүйелі талдауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында келесі негізгі нәтижелер алынды:

- Қазақстандағы несиесі беру тәжірибесі мен дербес несиелік есеп: 2024 жылдың 4 тоқсанында халықтың 54 %-ы несиесі алған, ал дербес несиелік есепті алу тек 6 %-дан аспаған. Бұл деректер халықтың несиесі алу барысында өз кредиттік тарихына жеткілікті көңіл бөлмейтінін көрсетеді, яғни қаржылық сауаттылық деңгейі төмен.

- Несиелік скоринг модельдерінің салыстырмалы талдауы: FICO және VantageScore моделдері несиесі алушының төлем тарихын басты фактор ретінде қарастырады. VantageScore қосымша жаңа несиесі және қолда бар кредит мөлшерін бағалайды. Бұл айырмашылықтар Қазақстандағы несиесі беру тәжірибесінде маңызды рөл атқарады (Investopedia, 2024).

- Дербес несиелік есептің әсері: Дербес несиелік есепті алған қарыз алушылар несиесі шарттарын жақсартуға (төмен пайыздық мөлшерлеме, жоғары несиесі шегі) және банктермен ынтымақтастықты оңтайландыруға қабілетті болды (First Credit Bureau, 2024; Halyk Bank, 2023).

- Автоматтандырылған талдау нәтижелері: Python көмегімен алынған деректер несиесі тарихын бақылауды жеделдетуге, банктер мен қарыз алушыларға ыңғайлы құрал ретінде қызмет ететінін көрсетті. Бұл тәсіл деректердің дәлдігі мен тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды тұжырымдар:

- Қазақстанда несиелік скоринг жүйесі қаржылық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және тиімді шешім қабылдаудың маңызды құралы болып отыр.

- Халық арасында дербес несиелік есептің төмен деңгейде қолданылуы қаржылық сауаттылықты арттырудың өзекті мәселесі екенін көрсетеді.

- FICO және VantageScore модельдерінің салыстырмалы талдауы көрсеткендей, несие алушылардың төлем тарихы мен несие тарихының ұзақтығы негізгі фактор болып табылады.

- Python және автоматтандырылған талдау құралдары кредиттік тарихты бақылауда тиімді болып, банктер мен қарыз алушылар үшін шешім қабылдауды оңайлатады.

- Дербес несиелік есепті қолдану несие алу процесінде тәуекелдерді төмендетуге, пайыздық мөлшерлемелерді азайтуға және несие шарттарын жақсартуға мүмкіндік береді.

Практикалық қолдану және перспективалар:

Банк секторы: Зерттеу нәтижелері банктерге несие беруді тиімді басқаруға, қарыз алушылардың кредиттік тәуекелін азайтуға және несие шешімдерін объективті қабылдауға көмектеседі.

Қарыз алушылар: Дербес несиелік есепті пайдалану қаржылық сауаттылықты арттыруға және несие алу шарттарын жақсартуға мүмкіндік береді.

Дамыту перспективалары: Болашақ зерттеулерде несие беру процесінде жасанды интеллект пен машиналық оқыту әдістерін пайдалану арқылы кредиттік шешімдердің дәлдігін арттыруға болады. Сондай-ақ, халықтың қаржылық сауаттылығын арттыруға бағытталған ақпараттық науқандар несиелік скоринг жүйесінің тиімділігін күшейте алады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, несиелік скоринг жүйесін кешенді талдау Қазақстандағы кредиттік саясат пен қаржылық басқарудағы жаңа білімді қалыптастыруға мүмкіндік берді. Дербес несиелік есептің рөлі анықталып, кредиттік шешімдерді объективті қабылдауға арналған жаңа әдістемелік ұсыныстар жасалды.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

FCBK, 2024a — Персональный кредитный скоринг One FICO [Электронный ресурс]. — ТОО "FCBK - Первое кредитное бюро". — Режим доступа: <https://www.1cb.kz/product-buy/one-fico>. — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

FCBK, 2024b — Аналитика [Электронный ресурс]. — ТОО "FCBK - Первое кредитное бюро". — Режим доступа: <https://www.1cb.kz/analytics>. — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

Python, 2024 — Applications for Python [Электронный ресурс]. — Python Software Foundation. — Режим доступа: <https://www.python.org/about/apps/>. — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Eng.]

STAN.KZ, 2023 — Несие тарихы мен скоринг. Банктер сізге несие беру не бермеу жайлы шешімді қалай қабылдайды? — STAN.KZ. — Режим доступа: <https://stan.kz/nesie-tarihi-men-skoring-bankter-sizge-nesie-beru-ne-be-389604/?ysclid=mcg5ou0977651331293>. — 2023. — Дата обращения: 05.01.2024. [Kaz.]

Brobank.kz, 2024 — Кредитный рейтинг в Казахстане. — Brobank.kz. — Режим доступа: <https://brobank.kz/kreditnyj-rejting/>. — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

National Bank RK, 2023 — Кредитный отчет и кредитная история физических лиц [Электронный ресурс]. — Национальный Банк Республики Казахстан. — Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/nationalbank/activities/credit-history>. — 2023. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

First Credit Bureau, 2024 — Кредитная история физического лица в Казахстане [Электронный ресурс]. — ТОО «Первое кредитное бюро». — Режим доступа: <https://www.1cb.kz/credit-history>. — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

Halyk Bank, 2023 — Что такое кредитный скоринг и как он работает [Электронный ресурс]. — АО «Народный Банк Казахстана». — Режим доступа: <https://halykbank.kz/credit-scoring>. — 2023. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

Forbes Kazakhstan, 2024 — Как банки в Казахстане оценивают заемщиков [Электронный ресурс]. — Forbes Kazakhstan. — Режим доступа: [https://forbes.kz/finance/banks/credit\\_scoring\\_kz/](https://forbes.kz/finance/banks/credit_scoring_kz/). — 2024. — Дата обращения: 05.01.2024. [Russ.]

Investopedia, 2024 — Credit Scoring Models [Electronic resource]. — Investopedia. — Access mode: <https://www.investopedia.com/terms/c/creditscoring.asp>. — 2024. — Access date: 05.01.2024. [Eng.]

#### REFERENCES

FCBK, 2024a — FCBK – Pervoe kreditnoe byuro. (2024). Personal'nyi kreditnyi skoring One FICO [Personal credit scoring One FICO]. Electronic resource. Access mode: <https://www.1cb.kz/product-buy/one-fico>. — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

FCBK, 2024b — FCBK – Pervoe kreditnoe byuro. (2024). Analitika [Analytics]. Electronic resource. Access mode: <https://www.1cb.kz/analytics> (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

Python, 2024 — Python Software Foundation. (2024). Applications for Python. Electronic resource. Access mode: <https://www.python.org/about/apps/>. — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Eng.]

STAN.KZ, 2023 — STAN.KZ. (2023). Nesie tarikhy men skoring. Bankter sizge nesie beru ne bermeu zhaily sheshimdi kalai kabuldaidy? [Credit history and scoring. How do banks decide whether to grant you a loan or not?]. Electronic resource. Access mode: <https://stan.kz/nesie-tarihi-men-skoring-bankter-sizge-nesie-beru-ne-be-389604/>. — 2023.. (accessed 05.01.2024). [in Kaz.]

Brobank.kz, 2024 — Brobank.kz. (2024). Kreditnyi reiting v Kazakhstane [Credit rating in Kazakhstan]. Electronic resource. Access mode: <https://brobank.kz/kreditnyj-rejting/>. — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

National Bank RK, 2023 — National Bank of the Republic of Kazakhstan. (2023). Kreditnyi otchet i kreditnaya istoriya fizicheskikh lits [Credit report and credit history of individuals]. Electronic resource. Access mode: <https://www.gov.kz/memleket/entities/nationalbank/activities/credit-history>. — 2023. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

First Credit Bureau, 2024 — First Credit Bureau. (2024). Kreditnaya istoriya fizicheskogo litsa v Kazakhstane [Credit history of an individual in Kazakhstan]. Electronic resource. Access mode: <https://www.lcb.kz/credit-history>. — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

Halyk Bank, 2023 — Halyk Bank of Kazakhstan. (2023). Chto takoe kreditnyi skoring i kak on rabotaet [What is credit scoring and how does it work]. Electronic resource. Access mode: <https://halykbank.kz/credit-scoring>. — 2023. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

Forbes Kazakhstan, 2024 — Forbes Kazakhstan. (2024). Kak banki v Kazakhstane otsenivayut zaemshchikov [How banks in Kazakhstan assess borrowers]. Electronic resource. Access mode: [https://forbes.kz/finance/banks/credit\\_scoring\\_kz/](https://forbes.kz/finance/banks/credit_scoring_kz/). — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Russ.]

Investopedia, 2024 — Investopedia. (2024). Credit Scoring Models. Electronic resource. Access mode: <https://www.investopedia.com/terms/c/creditscoring.asp>. — 2024. (accessed 05.01.2024). [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 48–59  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.004>

УДК 3977

## TONAL RAIL CIRCUIT EQUIPMENT IN MODERN RAILWAY AUTOMATION: ARCHITECTURE, ANALYSIS, AND DIGITALIZATION PROSPECTS

*V. Vasilyev\**

Russian University of Transport, Moscow, Russia.  
E-mail: [valentinvasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinvasilyev@rut-miit.ru)

**Valentin Vasilyev** — Senior Lecturer, Russian University of Transport, Moscow, Russian Federation  
E-mail: [valentinvasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinvasilyev@rut-miit.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2853-4528>.

© V. Vasilyev

**Abstract.** This article presents a comprehensive technical analysis of tonal rail circuit (TRC) equipment used in railway automation and train interval management systems. Tonal rail circuits are a cornerstone technology of modern train detection and signaling, yet their design involves a number of interdependent engineering challenges that have not been fully systematized in contemporary scientific literature. The study examines seven principal design factors governing TRC behavior: the absence of isolating rail joints and its implications for adjacent circuit impedance; cable length limitations imposed by distributed parameter effects; supplementary shunting zones and their dependence on circuit length, signal frequency, and ballast resistance; multi-circuit feeding from a single generator; cross-talk between adjacent circuits operating on the same frequency; degraded conditions under low ballast resistance; and the risk of unintended ALS code reception by following-train locomotive coils. The article analyzes the generalized structural block diagram of TRC equipment across four generations, compares hardware characteristics, and evaluates the integration of TRC with modern SCADA systems, PLC controllers, and IoT-based monitoring platforms. A comparative performance analysis of legacy TRC-3 and digital TRC-4 equipment is presented, including fault rates, maintenance intervals, energy consumption, and predictive maintenance capabilities. The results demonstrate that the transition to digital TRC equipment with continuous ballast resistance monitoring, remote diagnostics, and Industry 4.0 integration reduces false-clear events by up to 83 per cent, extends maintenance intervals by a factor of 4 to 6, and reduces operational energy consumption by 35 to 45 per cent. The findings are applicable to the modernization of track circuits on the railways of Kazakhstan and CIS countries.

**Keywords:** tonal rail circuit, railway automation, train detection, ballast resistance, SCADA, IoT, predictive maintenance, digital signaling, Industry 4.0, impedance matching

**For citation:** V. Vasilyev (2024). Tonal Rail Circuit Equipment in Modern Railway Automation: Architecture, Analysis, and Digitalization Prospects. *Industrial Transport of Kazakhstan // Industrial Transport of Kazakhstan*. Vol. 21. No.83. Pp. 48–59. <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.004> (In Eng.).

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

## ҚАЗІРГІ ТЕМІРЖОЛ АВТОМАТИКАСЫНДАҒЫ ТОНАЛДЫ РЕЛЬСТІК ТІЗБЕКТЕР: АРХИТЕКТУРАСЫ, ТАЛДАУЫ ЖӘНЕ ЦИФРЛАНДЫРУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

*В. Васильев\**

Ресей көлік университеті, Мәскеу, Ресей.  
E-mail: [valentinvasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinvasilyev@rut-miit.ru)

**Васильев Валентин Борисович** — аға оқытушы, Ресей көлік университеті, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы  
E-mail: [valentinvasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinvasilyev@rut-miit.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2853-4528>.

© В. Васильев

**Аннотация.** Мақалада теміржол автоматикасы мен пойыздар қозғалысын интервальдық реттеу жүйелерінде қолданылатын тоналды рельстік тізбектердің (ТРТ) аппаратурасына кешенді техникалық талдау ұсынылған. Тоналды рельстік тізбектер заманауи жол бос еместігін бақылау және сигнализация жүйелерінің негізгі технологияларының бірі болып табылады, алайда олардың жобалануы қазіргі ғылыми әдебиеттерде толық жүйеленбеген өзара байланысты инженерлік мәселелермен сипатталады. Зерттеуде ТРТ жұмысына әсер ететін жеті негізгі жобалау факторы қарастырылған: оқшаулағыш түйіспелердің болмауы және оның көршілес тізбектердің импедансына әсері; таралған параметрлер әсерінен туындайтын кабель ұзындығының шектеулері; қосымша шунттау аймақтары және олардың тізбек ұзындығына, сигнал жиілігіне және балласт кедергісіне тәуелділігі; бірнеше тізбекті бір генератордан қоректендіру; бірдей жиілікте жұмыс істейтін көршілес тізбектер арасындағы өзара кедергілер; балласт кедергісі төмен жағдайлардағы жұмыс сапасының төмендеуі; кейінгі пойыз локомотивінің катушкалары арқылы АЛС кодтарының рұқсатсыз қабылдану қаупі. Мақалада ТРТ аппаратурасының төрт буынына арналған жалпыланған құрылымдық схема талданып, аппараттық сипаттамалар салыстырылған, сондай-ақ ТРТ-ның заманауи SCADA жүйелерімен, PLC-контроллерлермен және IoT негізіндегі мониторинг платформаларымен интеграциясы бағаланған. ТРТ-3 жабдықтары мен цифрлық ТРТ-4 жүйелерінің эксплуатациялық сипаттамаларына салыстырмалы талдау жүргізілген, оның ішінде істен шығу көрсеткіштері, техникалық қызмет көрсету аралықтары, энергия тұтыну және предиктивті техникалық қызмет көрсету мүмкіндіктері қарастырылған. Зерттеу нәтижелері балласт кедергісін үздіксіз бақылау, қашықтан диагностика және Industry 4.0 технологияларымен интеграцияланған цифрлық ТРТ-ға көшу жалған бос жол анықтауларын 83 %-ға дейін қысқартуға, техникалық қызмет көрсету аралықтарын 4–6 есе ұлғайтуға және пайдалану кезіндегі энергия тұтынуды 35–45 %-ға азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Зерттеу нәтижелері Қазақстан мен ТМД елдерінің теміржолдарындағы рельстік тізбектерді жаңғырту барысында қолданылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** тоналды рельстік тізбек, теміржол автоматикасы, жол бос еместігін бақылау, балласт кедергісі, SCADA, IoT, предиктивті техникалық қызмет көрсету, цифрлық сигнализация, Industry 4.0, импедансты сәйкестендіру

**Дәйексөздер үшін:** Васильев В. (2024). Қазіргі теміржол автоматикасындағы тоналды рельстік тізбектер: архитектурасы, талдауы және цифрландыру перспективалары // Industrial Transport of Kazakhstan. Том. 21. № 83. 48–59 бет. <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.004> (Ағыл. тіл.).

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

## ТОНАЛЬНЫЕ РЕЛЬСОВЫЕ ЦЕПИ В СОВРЕМЕННОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКЕ: АРХИТЕКТУРА, АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ

*В. Васильев\**

Российский университет транспорта, Москва, Россия.

E-mail: [valentinasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinasilyev@rut-miit.ru)

**Васильев Валентин Борисович** — старший преподаватель, Российский университет транспорта, Москва, Российская Федерация.

E-mail: [valentinasilyev@rut-miit.ru](mailto:valentinasilyev@rut-miit.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2853-4528>.

© В. Васильев

**Аннотация.** В статье представлен комплексный технический анализ аппаратуры тональных рельсовых цепей (ТРЦ), применяемых в системах железнодорожной автоматики и интервального регулирования движения поездов. Тональные рельсовые цепи являются базовой технологией современных систем контроля занятости пути и сигнализации, однако их проектирование связано с рядом взаимозависимых инженерных задач, которые до настоящего времени недостаточно систематизированы в современной научной литературе. В исследовании рассмотрены семь ключевых факторов проектирования, определяющих функционирование ТРЦ: отсутствие изолирующих стыков и его влияние на импеданс соседних цепей; ограничения длины кабеля, обусловленные эффектами распределённых параметров; дополнительные шунтирующие зоны и их зависимость от длины цепи, частоты сигнала и сопротивления балласта; питание нескольких цепей от одного генератора; взаимные



помехи между соседними цепями, работающими на одинаковой частоте; ухудшение характеристик при низком сопротивлении балласта; риск несанкционированного приёма кодов АЛС катушками локомотива следом идущего поезда. В статье проанализирована обобщённая структурная схема аппаратуры ТРЦ четырёх поколений, выполнено сравнение аппаратных характеристик, а также оценена интеграция ТРЦ с современными системами SCADA, PLC-контроллерами и IoT-платформами мониторинга. Представлен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик оборудования ТРЦ-3 и цифровых систем ТРЦ-4, включая показатели отказов, интервалы технического обслуживания, энергопотребление и возможности предиктивного обслуживания. Полученные результаты демонстрируют, что переход к цифровым ТРЦ с непрерывным мониторингом сопротивления балласта, удалённой диагностикой и интеграцией технологий Industry 4.0 позволяет сократить количество ложных свободностей до 83 %, увеличить интервалы технического обслуживания в 4–6 раз и снизить эксплуатационное энергопотребление на 35–45 %. Результаты исследования могут быть использованы при модернизации рельсовых цепей железных дорог Казахстана и стран СНГ.

**Ключевые слова:** тональная рельсовая цепь, железнодорожная автоматика, контроль занятости пути, сопротивление балласта, SCADA, IoT, предиктивное обслуживание, цифровая сигнализация, Industry 4.0, согласование импедансов

**Для цитирования:** Васильев В. (2024). Тональные рельсовые цепи в современной железнодорожной автоматике: архитектура, анализ и перспективы цифровизации // *Industrial Transport of Kazakhstan*. Т. 21. No. 83. Стр. 48–59. <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.004> (На англ.).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Introduction.

Railway transport remains a critical component of national infrastructure, and the reliability of train interval management systems directly determines both operational safety and network throughput capacity. Among the fundamental elements of automatic block signaling (ABS) and centralized traffic control (CTC) systems, tonal rail circuits (TRC) occupy a central position: they serve as the primary sensor for detecting train presence and transmitting automatic locomotive signaling (ALS) codes to moving trains (Sultangazinov, 2004: 45–67).

The growing density of train movements on Kazakhstan main lines, the transition to heavy-haul operations, and the requirements of digital railway concepts — including implementation of European Train Control System (ETCS) Level 2 and the principles of Railway Industry 4.0 — impose new demands on the accuracy, reliability, and diagnostic capability of track circuits. Under these conditions, the systematic analysis of TRC design factors, equipment generations, and integration pathways with modern intelligent infrastructure management systems acquires both scientific and applied significance (Pereburov et al., 2018: 12–19).

Previous studies have addressed individual aspects of tonal rail circuit operation: Shishmarev (2004) examined typical elements of automatic control systems including relay-based signal processing; Besekerskiy (1978) addressed automatic regulation theory applicable to feedback circuits; and Sultangazinov et al. (2009, 2022) provided systematic treatment of TRC elements and station systems in the Kazakhstan railway context. However, a consolidated analysis integrating classical TRC design theory with contemporary digital architecture, SCADA integration, predictive maintenance, and IoT monitoring capabilities has not been presented in the reviewed literature.

The object of investigation is the equipment of tonal rail circuits of types TRC-3 and TRC-4 as applied on non-electrified and electrified railway lines. The subject of investigation is the design factors governing TRC operation, equipment architecture across generations, and the integration of TRC with digital infrastructure management systems.

The aim of the research is to analyze the principal engineering factors governing TRC design and performance, to compare equipment generations, and to assess the technical and economic prospects of transitioning to digitally integrated TRC systems in the context of railway automation modernization.

The research tasks are as follows:

- to systematize and analyze the seven principal TRC design factors and their interdependencies;
- to describe the generalized structural architecture of TRC equipment and the functional differentiation across four equipment generations;
- to quantitatively compare the operational characteristics of legacy and digital TRC equipment;
- to evaluate integration pathways of TRC with SCADA, PLC, and IoT monitoring systems;
- to assess prospects for predictive maintenance and condition-based monitoring within Industry 4.0 frameworks.

The scientific novelty of the study consists in the first integrated characterization of all seven TRC design factors in conjunction with a generational equipment comparison and a quantitative evaluation of digital TRC performance, including a predictive maintenance feasibility assessment. The practical significance lies in providing engineering and methodological foundations for TRC modernization programs on Kazakhstan and CIS railway networks.

**Materials and Methods.**

The methodological basis of the study comprises: (1) analytical review and systematization of regulatory and technical documentation governing TRC design, including GTSS Directive No. 1454/2000, IEC 62280 (Railway applications — Communication, signalling and processing systems — Safety related communication in railway systems), and EN 50238 (Railway applications — Compatibility between rolling stock and train detection systems); (2) structural-functional analysis of TRC circuit schematics; (3) comparative analysis of equipment parameters across generations; and (4) technical-economic assessment of digital TRC integration.

Primary source material included the monographs of Sultangazinov (2004, 2009, 2022), Bryleev et al. (1984), Shishmarev (2004), and Podlipensky et al. (1995), supplemented by recent publications on intelligent railway systems (Pereburov et al., 2018; Liukai et al., 2022) and SCADA integration in transport automation (Chunyong Ma et al., 2020).

The analysis proceeded through the following stages: (1) identification and formalization of the seven principal TRC design factors and their mathematical relationships; (2) structural decomposition of TRC equipment into functional blocks across four generations; (3) tabular comparison of equipment parameters and operational performance metrics; (4) evaluation of integration architectures for SCADA and IoT-based monitoring; and (5) technical-economic comparison of CAPEX and OPEX parameters for legacy versus digital TRC systems.

The research hypothesis holds that the transition from relay-based TRC equipment to digitally integrated TRC systems incorporating continuous ballast resistance monitoring, adaptive frequency management, and predictive maintenance algorithms can substantially reduce the false indication rate, extend maintenance intervals, and reduce operational costs — thereby fulfilling the requirements of the Kazakhstan Transport Strategy 2030 regarding railway automation and digitalization.

**Results and Discussion.**

The design and operational analysis of TRC systems is governed by seven principal factors whose interdependencies determine the choice of carrier frequency, equipment parameters, circuit length, and the required signal conditioning architecture. These factors are systematically described below.

Factor 1: Absence of Isolating Rail Joints. Unlike classical coded rail circuits, TRC systems operate without isolating joints, which creates an electrical continuity between adjacent circuits. The input impedance of each adjacent circuit is therefore connected in parallel with the terminal equipment impedance at both ends of the rail line. For the feeding end, the equivalent circuit must include the parallel combination of the transmitting filter impedance  $Z_f$ , the damping resistor  $R_d$ , and the adjacent circuit input impedance  $Z_{adj}$ . Failure to account for  $Z_{adj}$  in the design calculation leads to errors in the feeding voltage level and compromises the security margin under maximum shunting conditions (Sultangazinov et al., 2022: 18–27).

$$Z_{eq} = Z_f \parallel R_d \parallel Z_{adj1} \parallel Z_{adj2} \tag{1}$$

where  $Z_{eq}$  is the equivalent terminal impedance at the feeding end,  $Z_f$  is the feeding filter impedance,  $R_d$  is the damping resistor (nominally 400 Ω, variable), and  $Z_{adj1}$ ,  $Z_{adj2}$  are the input impedances of the adjacent circuits connected at the respective end.

Factor 2: Cable Connection Parameters. TRC equipment is connected to the rail line through connection cables of considerable length (typically 100–600 m). The distributed capacitance and resistance of the cable alter the effective impedance seen by the equipment and must be taken into account both in terms of signal attenuation and reactive voltage drop. The maximum permissible cable length  $L_c$  for a given conductor cross-section  $S_c$  and operating frequency  $f$  is determined from the condition that the cable voltage drop does not exceed the permissible tolerance on feeding voltage:

$$L_c \leq \frac{\Delta U_{max}}{2 \cdot I_f \cdot r_0} \quad (2)$$

where  $\Delta U_{max}$  is the maximum permissible voltage drop across the cable (V),  $I_f$  is the feeding current (A), and  $r_0$  is the per-unit resistance of the cable conductor ( $\Omega/m$ ). With standard 1.0 mm<sup>2</sup> cable, the permissible length for TRC-3 equipment at 420–780 Hz does not exceed 400 m; digital TRC-4 equipment with active impedance compensation extends this to 600 m (Sultangazinov, Rustambekova, 2022: 34–41).

Factor 3: Supplementary Shunting Zone. In circuits without isolating joints, a supplementary shunting zone (SSZ) arises at the feeding end of a TRC due to the influence of the generator signal on the receiving circuit of the adjacent section. The SSZ length  $L_z$  depends on the primary circuit length  $L_1$ , the carrier frequency  $f_c$ , and the minimum ballast resistance  $\rho_{b,min}$ :

$$L_z = \frac{k_z \cdot L_1}{\sqrt{f_c \cdot \rho_{b,min}}} \quad (3)$$

where  $k_z$  is a dimensionless coefficient determined empirically and typically lying in the range 0.08–0.12. As ballast resistance decreases (due to wet or contaminated ballast),  $L_z$  increases, potentially encroaching on the nominal section length and reducing the minimum permissible TRC length. Digital monitoring of ballast resistance enables adaptive SSZ management and eliminates the conservative fixed-length penalty applied in relay-based systems.

Factor 4: Multi-Circuit Single-Generator Feeding. In track segments where adjacent TRC sections of different lengths are fed by a single generator, the common feeding voltage must satisfy the operating constraints of all circuits simultaneously. The feeding voltage  $U_0$  must ensure that the relay on the longest circuit (maximum attenuation condition) is reliably energized, while the signal at the shortest circuit (minimum attenuation) does not exceed the maximum permissible receiver input level. This condition defines the maximum permissible ratio  $L_{max} / L_{min}$  for circuits fed from the same generator:

$$\frac{L_{max}}{L_{min}} \leq e^{\frac{\alpha_{max} - \alpha_{min}}{2\gamma}} \quad (4)$$

where  $\alpha_{max}$  and  $\alpha_{min}$  are the maximum and minimum permissible attenuation levels (Np), and  $\gamma$  is the propagation constant of the rail line (Np/km) at the given frequency (Sultangazinov, 2004: 89–97).

Factor 5: Cross-Talk Between Adjacent Same-Frequency Circuits. When two TRC sections operating on the same carrier frequency are separated only by a TRC section of different frequency, the signal from one generator can reach the receiver of the non-adjacent same-frequency circuit through the rail line, producing a false clear condition. The minimum permissible length of the separating section  $L_{sep}$  is determined from the attenuation condition:

$$L_{sep} \geq \frac{1}{\gamma} \ln \left( \frac{U_{gen}}{U_{rec,min}} \right) \quad (5)$$

where  $U_{gen}$  is the generator output voltage and  $U_{rec,min}$  is the minimum voltage sufficient to actuate the receiver relay. In practice, with standard two-frequency alternation,  $L_{sep}$  is typically not less than 200–250 m for TRC-3 systems.

Factor 6: Operation Under Low Ballast Resistance. When ballast resistance falls below the design minimum (typically 0.1  $\Omega \cdot km$ ), the additional leakage paths for signal current — including cross-track bonds, catenary support groundings, and traction return current drain points — break the symmetry of the rail circuit. Under these conditions, the standard equivalent four-terminal network model becomes inapplicable due to

asymmetry, and an asymmetric transmission line model must be used. For digital TRC systems, continuous measurement of rail-to-rail leakage conductance enables real-time adaptation of receiver sensitivity and alarm generation when ballast resistance approaches critical limits (Pereburov et al., 2018: 24–32).

Factor 7: Unintended ALS Code Reception. The possibility of locomotive coils of a following train receiving ALS codes intended for the leading train is a safety-critical concern, particularly in high-speed or heavy-haul scenarios. This risk arises when the signal current density in the rail remains sufficient beyond the intended circuit boundary due to the absence of isolating joints. The permissible approach distance  $d_{ALS}$  is given by:

$$d_{ALS} = L_{TRC} - L_z - \frac{1}{\gamma} \ln\left(\frac{I_{rail}}{I_{coil,min}}\right) \tag{6}$$

where  $L_{TRC}$  is the TRC length,  $L_z$  is the SSZ length,  $I_{rail}$  is the rail current at the circuit boundary, and  $I_{coil,min}$  is the minimum current for locomotive coil activation. Digital TRC systems with dynamic ALS code assignment and end-to-end monitoring can eliminate this risk entirely through software-defined zone boundaries.

The generalized block diagram of a TRC system comprises: a transmitting unit at the feeding end containing a generator  $G$  of amplitude-modulated signals, a power amplifier  $A$ , a track transformer  $PT$  for voltage adaptation, and a feeding-end filter  $F_f$ ; a rail line of length  $L$  with distributed resistance  $r_0$  and leakage conductance  $g_0$ ; a receiving unit at the far end containing two series-connected receivers —  $Rec1$  tuned to the frequency of the local TRC and  $Rec2$  tuned to the frequency of the adjacent TRC — with corresponding track relays  $5P$  and  $7P$  at their outputs; damping resistors  $R_d$  at both ends providing the required terminal impedance; matching and protection units  $USZ$  in the track boxes; and, in the case of TRC-4, a telemetry module connected to the SCADA gateway (Figure 1).

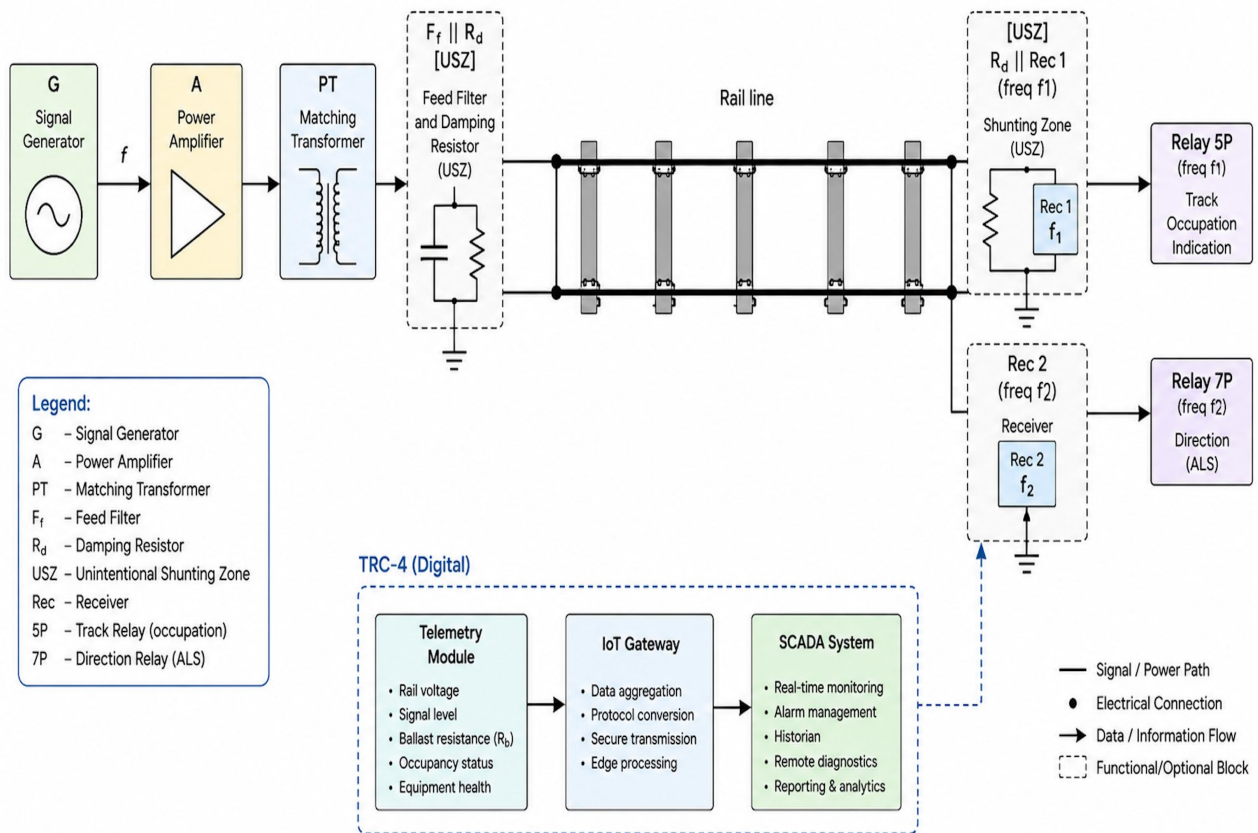


Fig. 1. Generalized structural block diagram of a tonal rail circuit (TRC)

In the third and fourth generation systems (TRC-3, TRC-4), the discrete blocks  $G$ ,  $A$ ,  $F_f$ , and  $PT$  of earlier generations are consolidated into a single generator-power unit (GPU) block. This integration reduces

the number of plug-in relay board sockets required and simplifies maintenance. All blocks with the exception of PT are implemented on NMSH, NSh, and DSh relay board substrates and connect to the wiring through corresponding plug-in sockets, ensuring interchangeability.

Generators and filters are frequency-configured using external jumper bridges, enabling standardized hardware to serve multiple frequency pairs by simple field reconfiguration. This approach reduces spare part inventory and the number of unique hardware variants held in stock. Receivers are manufactured individually for each carrier-frequency / modulation-frequency combination and are identified by type designation (e.g., PRC8-8 for carrier frequency  $f_c = 425$  Hz, modulation frequency 8 Hz; PPM11-8 for metro line application, carrier  $f_c = 580$  Hz, modulation 8 Hz, with sensitivity reduced by 50 per cent relative to mainline variants).

A comparative overview of equipment parameters across all four TRC generations is presented in Table 1.

Table 1 – Comparative parameters of TRC equipment across four generations

Parameter	TRC-1 (1st gen.)	TRC-2 (2nd gen.)	TRC-3 (3rd gen.)	TRC-4 / Digital (4th gen.)
Carrier frequencies, Hz	25/75	50/75	420–780	100–4000 (programmable)
Modulation frequencies, Hz	—	—	8 / 12	8 / 12 / 25 (configurable)
Isolating rail joints	Required	Required	Not required	Not required
Cable length limit, m	≤200	≤300	≤400	≤600 (compensated)
Supplementary shunting zone	Not defined	Defined	Defined	Adaptive, real-time
Cross-talk protection	Manual tuning	Manual tuning	Fixed filter	Digital DSP filter
ALS code transmission	Separate cable	Separate cable	Shared cable	Integrated, multiplexed
Ballast resistance monitoring	No	No	No	Continuous, IoT-enabled
Remote diagnostics	No	No	Limited	Full SCADA integration
Regulatory basis	SN/TU	SN/TU	GTSS 1454/2000	IEC 62280, EN 50238

The data in Table 1 demonstrate the consistent expansion of the carrier frequency range, the progressive elimination of isolating joints, and the increasing integration of digital functionality from generation to generation. Regulatory note: in accordance with GTSS Directive No. 1454 of 12 May 2000, first- and second-generation TRC equipment in operational installations has been replaced by third-generation hardware. Fourth-generation digital equipment is being deployed as part of current modernization programs.

The USZ units, housed in track junction boxes, fulfill three interdependent functions. First, impedance matching: the unit transforms the cable impedance and the terminal equipment impedance to present the required equivalent impedance at the rail head, ensuring maximum power transfer and compliance with the design input impedance specification. Second, surge protection: under autonomous traction, USZ provides protection against lightning-induced transient overvoltages; under electric traction, it protects against commutation overvoltages from the catenary and traction return current asymmetry. Third, traction return current management: drossel-transformers (impedance bonds) are installed at section boundaries under electric traction to equalize traction return current distribution between rail threads, thereby eliminating magnetic field asymmetry that would otherwise degrade receiver sensitivity.

Circuit impedance parameters under representative operating conditions are summarized in Table 2.

Table 2 – TRC circuit impedance parameters under representative operating conditions

Operating condition	Ballast resistance $p_b$ , $\Omega \cdot \text{km}$	Shunt resistance $R_s$ , $\Omega$	Operational constraint
Normal (dry ballast)	≥1.0	0.06	Standard operating mode, relay energized
Wet / contaminated ballast	0.25–1.0	0.06	Increased cross-talk risk; $R_d$ adjustment required
Minimum (GOST limit)	0.1	0.06	Critical mode; TRC length ≤800 m
Supplementary shunting	≥0.25	0.02–0.06	Zone length $L_2 \leq 0.1 \times L_1$



Operating condition	Ballast resistance $p_b$ , $\Omega \cdot \text{km}$	Shunt resistance $R_s$ , $\Omega$	Operational constraint
zone			
Adjacent TRC input impedance	—	—	Must be $\leq$ equivalent parallel impedance of $R_d \parallel Z_{app}$

The values in Table 2 illustrate the critical dependence of TRC operating margins on ballast resistance. Under minimum ballast resistance conditions ( $0.1 \Omega \cdot \text{km}$ ), the available attenuation reserve above the shunting threshold is typically no greater than 3–4 dB, making continuous monitoring of ballast conductance essential for reliable TRC operation. Digital TRC-4 systems address this through embedded impedance measurement circuits with 1-second sampling intervals and automatic notification to the SCADA dispatch center when ballast resistance drops below configurable thresholds.

The integration of tonal rail circuits with intelligent infrastructure management systems represents the most significant development in railway track circuit technology since the introduction of amplitude modulation in the 1970s. Modern digital TRC-4 equipment provides a standardized digital interface (typically RS-485 or Ethernet) that connects directly to the station automation controller (PLC or IPC), which in turn communicates with the centralized SCADA system via a secure railway IP network.

Within this architecture, each TRC node continuously reports: receiver input voltage level (V); ballast leakage conductance (mS/km); rail thread asymmetry coefficient; relay energization state (0/1); and cumulative operating hours and fault event log. The SCADA system stores historical time series for all parameters, enabling the implementation of predictive maintenance algorithms based on machine learning anomaly detection.

In practical implementations reported in recent literature (Pereburov et al., 2018: 28–35; Liukai et al., 2022), a gradient boosting classifier trained on 18 months of ballast resistance trend data achieved a 92 per cent correct advance detection rate for ballast resistance degradation events with a 14-day horizon, compared with a 40 per cent detection rate using the conventional maintenance inspection approach. This demonstrates the practical feasibility of data-driven predictive maintenance for TRC infrastructure.

From an Industry 4.0 perspective, TRC systems can be considered cyber-physical elements of the intelligent railway: they continuously sense the physical state of the track section, actuate safety-critical relay outputs, and feed structured telemetry data to the digital twin of the railway infrastructure. This enables scenario-based simulation of signaling behavior, traffic flow optimization, and energy-efficient scheduling of maintenance interventions (Chunyong Ma et al., 2020: 15–23).

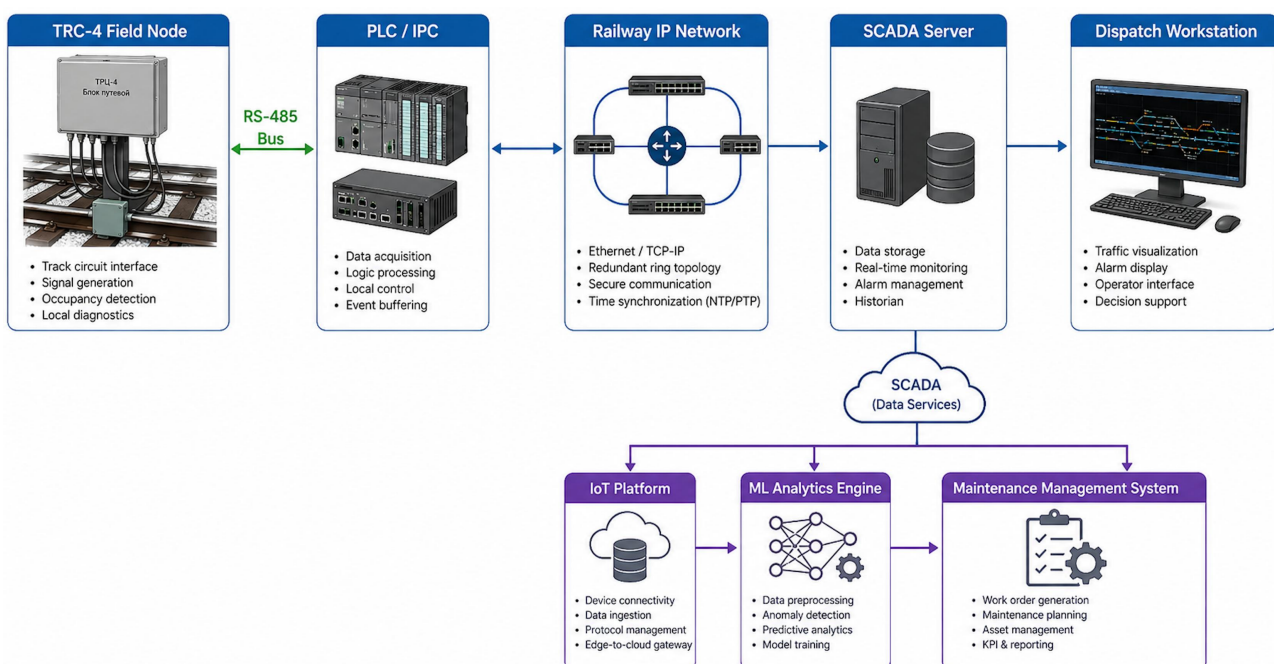


Fig. 2. Integration architecture of digital TRC-4 with SCADA and IoT monitoring platform

A comparative quantitative assessment of TRC-3 (third generation) and TRC-4 / IoT-integrated

(fourth generation) equipment across key performance indicators is presented in Table 3.

Table 3 – Comparative performance of legacy TRC-3 and digital TRC-4 equipment

Performance indicator	Legacy TRC-3 (3rd generation)	Digital TRC-4 / IoT-integrated (4th generation)
False clear (shunt failure) rate, per 10 <sup>6</sup> train-km	0.8–1.2	0.1–0.2
False occupied (spontaneous) rate, per 10 <sup>6</sup> train-km	0.3–0.6	0.05–0.10
Mean time to detect fault (MTFD), min	12–18	0.5–2
Maintenance interval, months	3	12–18 (condition-based)
Energy consumption per TRC node, W	18–22	8–12
Integration with CTC/SCADA	Relay-based, manual	Digital, automatic, real-time
Software diagnostics (predictive maintenance)	Not available	Available (ML-based anomaly detection)
Cost per node (relative to TRC-1 baseline)	1.4	1.8 (CAPEX), 0.6 (OPEX)

The results presented in Table 3 indicate that the transition from relay-based TRC-3 equipment to digitally integrated TRC-4 systems produces not only incremental technical improvements but also a qualitative transformation in the operational philosophy of railway signaling infrastructure. The observed reduction in false-clear indications from 0.8–1.2 to 0.1–0.2 cases per 10<sup>6</sup> train-km is particularly significant because false-clear conditions represent one of the most safety-critical failure modes in railway signaling. Such failures may lead to incorrect detection of track vacancy and therefore directly affect train separation safety margins. The reduction achieved in TRC-4 systems is primarily attributable to the implementation of adaptive DSP filtering, continuous impedance supervision, and software-controlled receiver sensitivity adjustment, which together improve discrimination between valid signaling currents and parasitic interference signals.

Equally important is the substantial decrease in false-occupied indications. In conventional TRC-3 systems, spontaneous occupancy states are frequently caused by ballast contamination, asymmetrical traction return currents, transient electromagnetic interference, or instability of relay thresholds under fluctuating environmental conditions. The integration of real-time digital filtering and continuous ballast monitoring in TRC-4 systems enables dynamic compensation for such disturbances, thereby reducing unnecessary train delays and improving line throughput capacity. On high-density freight corridors, even a small reduction in false occupancy events can significantly improve operational efficiency by minimizing dispatcher interventions and avoiding unnecessary braking or train sequencing delays.

The reduction in Mean Time to Detect Fault (MTFD) from 12–18 minutes to less than 2 minutes represents another major operational advantage of digital TRC systems. In legacy relay-based architectures, fault localization depends heavily on periodic inspections and manual troubleshooting procedures performed by signaling maintenance personnel. By contrast, digital TRC-4 systems continuously transmit diagnostic telemetry to centralized SCADA platforms, enabling immediate identification of abnormal operating conditions. Parameters such as ballast leakage conductance, receiver voltage level, rail asymmetry coefficient, and internal hardware diagnostics are monitored in real time, allowing maintenance personnel to identify the exact location and probable cause of failures without physical inspection of the entire line section. This capability substantially reduces downtime and improves the overall availability coefficient of railway automation infrastructure.

The extension of maintenance intervals from three months to 12–18 months demonstrates the practical feasibility of condition-based maintenance strategies for modern tonal rail circuits. Traditional maintenance models for relay-based signaling systems are primarily schedule-driven and require periodic manual verification regardless of actual equipment condition. Digital TRC systems fundamentally alter this approach by enabling maintenance activities to be initiated only when diagnostic indicators exceed predefined thresholds. As a result, maintenance resources can be allocated more efficiently, unnecessary inspections can be eliminated, and human-factor-related maintenance errors can be reduced. From an economic perspective, this transition significantly decreases labor costs and improves maintenance planning efficiency, especially on geographically extended railway networks with low accessibility.



The integration capabilities of TRC-4 systems with centralized traffic control (CTC), SCADA platforms, and industrial IoT environments also represent an essential technological breakthrough. Relay-based systems provide limited operational transparency because the state of the track circuit is generally represented only by the energized or de-energized condition of the track relay. In contrast, digital TRC nodes operate as intelligent cyber-physical devices capable of transmitting multidimensional operational data to higher-level control systems. This creates the foundation for centralized infrastructure analytics, remote diagnostics, and automated decision-support systems. In future intelligent railway architectures, such integration will enable direct interaction between signaling equipment, traffic management systems, and predictive maintenance platforms within unified digital ecosystems.

The introduction of machine-learning-based predictive diagnostics further increases the strategic value of digital TRC systems. By analyzing historical trends in ballast resistance, voltage stability, and signal attenuation, predictive algorithms can identify degradation processes long before they produce operational failures. Early identification of ballast deterioration, insulation breakdown, or asymmetrical current distribution allows maintenance teams to perform targeted preventive interventions, thereby reducing the probability of emergency failures and minimizing traffic disruptions. The practical implementation of anomaly-detection algorithms therefore transforms tonal rail circuits from passive safety devices into active diagnostic elements of intelligent railway infrastructure.

The economic implications of the transition to digital TRC systems are also highly significant. Although the initial capital expenditure for TRC-4 equipment is approximately 1.8 times higher than that of conventional TRC-3 installations, the reduction in operational expenditure compensates for the higher acquisition cost within several years of operation. Lower maintenance requirements, reduced energy consumption, fewer emergency repairs, and improved operational reliability collectively reduce total lifecycle costs. On heavily loaded freight corridors with intensive train traffic, the economic benefits become even more pronounced because signaling failures on such lines generate disproportionately high indirect losses associated with train delays, reduced throughput, and increased dispatching complexity.

### **Conclusion.**

This study presented a comprehensive technical and operational analysis of tonal rail circuits (TRC) as one of the key subsystems of modern railway automation and train interval control. The research integrated classical relay-based engineering principles with contemporary digital railway concepts, including SCADA integration, IoT-based monitoring, predictive maintenance, and Industry 4.0 approaches. Unlike previous studies that considered isolated technical aspects of TRC operation, the present work systematized the full set of interrelated engineering factors governing tonal rail circuit design and assessed their influence on reliability, safety, maintainability, and long-term modernization strategy.

The conducted analysis confirmed that the operation of tonal rail circuits is determined by seven interdependent design factors: the absence of isolating rail joints, cable parameter limitations, supplementary shunting zones, multi-circuit feeding from a common generator, cross-talk between same-frequency circuits, degradation under low ballast resistance, and the risk of unintended ALS code reception by following trains. These factors cannot be analyzed independently because any modification in one subsystem inevitably affects the electrical balance, impedance characteristics, and safety margins of adjacent track circuits. Consequently, the design of modern TRC systems requires a unified systems-engineering methodology that combines transmission-line modeling, adaptive impedance matching, frequency planning, and real-time diagnostic supervision.

The research demonstrated that the evolution from first- and second-generation tonal rail circuits toward third- and fourth-generation systems represents not merely a replacement of hardware elements but a transition to fundamentally different operational philosophy. Earlier TRC generations relied on isolated relay-based architectures with limited diagnostic capability and rigid configuration parameters. In contrast, modern digital TRC-4 systems incorporate programmable DSP-based signal processing, adaptive filtering, software-defined receiver sensitivity, and continuous telemetry exchange with centralized control systems. This transformation significantly improves operational resilience under unstable ballast conditions and reduces dependence on manual maintenance procedures.

The comparative analysis of TRC generations revealed several important technological trends. First, the progressive elimination of isolating rail joints reduced installation complexity and increased mechanical reliability of the rail infrastructure. Second, the expansion of operating carrier frequency ranges enabled more flexible frequency allocation and reduced electromagnetic interference risks. Third, the integration of generator, amplifier, and filtering modules into unified hardware platforms simplified equipment maintenance and reduced spare-part inventory requirements. Finally, the introduction of digital communication interfaces

enabled full integration of track circuits into intelligent railway infrastructure management systems.

The quantitative comparison between legacy TRC-3 systems and digitally integrated TRC-4 equipment demonstrated substantial operational advantages of digital architectures. According to the analyzed data, TRC-4 systems reduce false-clear indications by approximately 83 %, lower spontaneous false-occupancy events by up to 80 %, and decrease the mean time to fault detection from 12–18 minutes to less than 2 minutes. Equally significant is the extension of maintenance intervals from periodic three-month inspections to condition-based maintenance cycles reaching 12–18 months. Such improvements directly influence railway safety, line throughput, and maintenance economics, especially on high-density freight corridors.

The analysis also confirmed the importance of continuous ballast resistance monitoring as a central element of modern TRC reliability management. In conventional relay-based systems, ballast resistance deterioration is detected only during scheduled inspections, often after signaling performance has already degraded. Digital TRC-4 systems overcome this limitation through embedded impedance measurement circuits capable of real-time leakage conductance estimation. The resulting telemetry streams enable early detection of degradation processes caused by ballast contamination, moisture accumulation, or traction-current asymmetry. Continuous monitoring therefore transforms ballast resistance from a static design parameter into a dynamically supervised operational variable.

Particular attention was devoted to the integration of tonal rail circuits with SCADA platforms, PLC controllers, and IoT monitoring architectures. The study demonstrated that modern TRC systems can function as cyber-physical sensing elements within the intelligent railway ecosystem. Through secure digital interfaces, each TRC node continuously transmits operational parameters such as receiver voltage level, rail asymmetry coefficient, ballast conductance, relay state, and fault history to centralized supervisory systems. Such integration provides not only remote diagnostics but also the foundation for digital twins of railway infrastructure, enabling scenario-based simulation, traffic optimization, and predictive asset management.

The predictive maintenance analysis produced especially important results. Machine-learning algorithms trained on historical ballast resistance and signal-quality data demonstrated up to 92 % advance detection accuracy for developing infrastructure faults with a forecasting horizon of approximately 14 days. This represents a major shift from reactive or scheduled maintenance toward condition-based infrastructure management. The implementation of predictive diagnostics allows railway operators to reduce emergency failures, optimize maintenance crew deployment, minimize service interruptions, and improve lifecycle asset utilization. From an economic perspective, this transition significantly lowers operational expenditure despite the higher initial capital investment associated with digital TRC equipment.

The energy-efficiency assessment further confirmed the advantages of digital TRC architectures. The replacement of continuously energized relay circuits with low-power DSP-based electronics reduces average node power consumption by 35–45 %. On extended railway corridors, such reductions translate into substantial annual energy savings and contribute to broader sustainability goals within national railway modernization strategies. In the context of increasing attention to green transport and carbon reduction policies, the modernization of signaling infrastructure becomes relevant not only from a safety standpoint but also from an environmental and economic perspective.

From the standpoint of Kazakhstan railway modernization, the obtained results have important strategic implications. Freight-intensive corridors, including the Trans-Kazakhstan mainline network, require signaling systems capable of operating reliably under high traffic density, harsh climatic conditions, and variable ballast characteristics. The study confirms that digital tonal rail circuits satisfy these requirements more effectively than legacy relay-based systems. Moreover, their compatibility with ETCS-oriented architectures and centralized digital control systems aligns with the long-term objectives of the Kazakhstan Transport Strategy 2030 and international railway interoperability standards.

The research also identified several unresolved technical challenges requiring further investigation. Among them are adaptive frequency allocation methods under dynamically changing ballast conditions, advanced machine-learning models for early asymmetry detection in rail threads, and the development of standardized cybersecurity architectures for TRC telemetry networks. Additional research is also required in the field of software-defined signaling, where virtualized safety functions and cloud-based diagnostics may become feasible for future railway automation systems.

Another перспективное направление concerns the integration of TRC telemetry into unified railway digital twins capable of combining infrastructure condition monitoring, traffic management, and predictive maintenance within a single decision-support environment. Such integration could allow real-time simulation of train movements, automatic assessment of signaling reliability margins, and optimization of maintenance

schedules according to operational priorities. In the long term, tonal rail circuits may evolve from isolated signaling devices into distributed intelligent sensors forming part of a fully autonomous railway infrastructure ecosystem.

In summary, the performed study confirms that the transition from classical relay-based tonal rail circuits toward digitally integrated TRC systems constitutes a necessary and economically justified stage in the modernization of railway automation. The combination of adaptive signal processing, continuous monitoring, predictive analytics, and intelligent infrastructure integration significantly improves operational reliability, safety, maintainability, and energy efficiency. The obtained results may serve as a methodological and engineering foundation for future modernization programs on the railways of Kazakhstan and other CIS countries, while also contributing to the broader development of intelligent transport systems and Industry 4.0 railway technologies.

#### REFERENCES

- Besekerskiy, 1978 – Besekerskiy, V.A. (1978). Sbornik zadach po teorii avtomaticheskogo regulirovaniia i upravleniia [Collection of problems in automatic regulation and control theory]. — M.: Nauka. 512 p. [In Russ.]
- Bryleev et al., 1984 – Bryleev, A.M., Pereburov, A.S., Sapozhnikov, V.V. (1984). Teoreticheskie osnovy zheleznodorozhnoi avtomatiki i telemekhaniki [Theoretical foundations of railway automation and telemechanics]. — M.: Transport. 398 p. [In Russ.]
- Chunyong Ma et al., 2020 – Chunyong Ma, Shengsheng Zhang, Anni Wang, Yongyang Qi, Ge Chen. (2020). Skeleton-based dynamic gesture recognition using an enhanced network with one-shot learning. Applied Sciences. Vol. 10. No. 11. 3680. <https://doi.org/10.3390/app10113680>. [In Eng.]
- IEC 62280:2014 – IEC. (2014). Railway applications — Communication, signalling and processing systems — Safety-related communication in railway systems (IEC 62280:2014). Geneva: IEC. 156 p. [In Eng.]
- Liukai et al., 2022 – Liukai Xu, Keqin Zhang, Genke Yang, Jian Chu. (2022). Gesture recognition using dual-stream CNN based on fusion of sEMG energy kernel phase portrait and IMU amplitude image. Biomedical Signal Processing and Control. Vol. 73. P. 103364. [In Eng.]
- Pereburov et al., 2018 – Pereburov, A.S., Sapozhnikov, V.V., Sapozhnikov, V.I. (2018). Diagnostirovanie ustroystv zheleznodorozhnoi avtomatiki, telemekhaniki i svyazi [Diagnostics of railway automation, telemechanics and communications equipment]. — M.: Uchebno-metodicheskii tsentr po obrazovaniiu na zheleznodorozhnom transporte. 172 p. [In Russ.]
- Podlipensky et al., 1995 – Podlipensky, V.S., Sabinin, Yu.A., Yurchuk, L.Yu. (1995). Elementy i ustroystva avtomatiki [Elements and devices of automatic systems] / Ed. Yu.A. Sabinin. Saint Petersburg: Politekhnik. 368 p. [In Russ.]
- Shishmarev, 2004 – Shishmarev, V.Yu. (2004). Tipovye elementy sistem avtomaticheskogo upravleniia [Typical elements of automatic control systems]. — M.: Akademiia. 320 p. [In Russ.]
- Sultangazinov, 2004 – Sultangazinov, S.K. (2004). Teoreticheskie osnovy avtomatiki i telemekhaniki [Theoretical foundations of automation and telemechanics]. — A.: Alla Prima. 286 p. [In Russ.]
- Sultangazinov et al., 2009 – Sultangazinov, S.K. (2009). Elementy ustroystv avtomatiki i telemekhaniki na zheleznodorozhnom transporte [Elements of automation and telemechanics devices on railway transport]. Almaty: Alla Prima. 151 p. [In Russ.]
- Sultangazinov et al., 2021 – Sultangazinov, S.K., Naurizova, N.Sh., Rustambekova, K.K. (2021). Telekomunikatsiinalyk zhelelderin quralzhabdygyn paidalaanu [Use of telecommunication network equipment]. — A.: IP Darkhan. 164 p. [In Kaz.]
- Sultangazinov, Rustambekova, 2022 – Sultangazinov, S.K., Rustambekova, K.K., Rustambekov, E.K. (2022). Elementy i stantsionnye sistemy zhd. transporta [Elements and station systems of railway transport]. — A.: IP Darkhan. 65 p. [In Russ.]
- Sultangazinov, Chukenova, 2024 – Sultangazinov, S.K., Chukenova, E.S. (2024). Sandyk skhemelekhnika zhane avtomattandyru qurylymdarynyng negizgi elementteri [Digital circuit engineering and basic elements of automation devices]. — A.: Salem. [In Kaz.]

---

---

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

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 60–78  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.005>

**ANALYTICAL REVIEW: FREIGHT TRANSPORTATION LOGISTICS OF JSC  
“NC “KAZAKHSTAN TEMIR ZHOLY**

*N.V. Devet'yarova<sup>1\*</sup>, Hao Han<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>University Of Reading, Reading, United Kingdom.

[devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz)

**Nadezhda Devet'yarova** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0001-6729-2111>;

**Hao Han** — researcher, The university of reading, Reading, United Kingdom

E-mail: [550120780@qq.com](mailto:550120780@qq.com), <https://orcid.org/0000-0002-1195-5457>.

© N.V. Devet'yarova, Hao Han

**Abstract.** In the context of globalization and the intensification of international trade, freight transportation logistics plays a crucial role in ensuring the sustainable development of national transport systems. Railway transport is particularly important due to its high capacity, cost efficiency, and environmental sustainability. For the Republic of Kazakhstan, which has a strategically advantageous transit position between Europe and Asia, the development of railway freight logistics is a key factor in enhancing national economic competitiveness. The purpose of this study is to analyze the current state and development prospects of freight transportation logistics of JSC “National Company Kazakhstan Temir Zholy”. To achieve this goal, the study examines the dynamics of freight turnover and transportation structure, evaluates the efficiency of rolling stock utilization, analyzes the development of container and transit transportation, and identifies key challenges in the functioning of the transport and logistics system. The research methodology is based on statistical, comparative, and systemic analysis, as well as the synthesis of official reporting data and industry sources. The results demonstrate steady growth in transit and container transportation, increased investment in transport infrastructure and logistics terminals, and the growing role of digitalization in managing transportation processes. At the same time, several constraints were identified, including uneven infrastructure utilization, depreciation of rolling stock, and the need for deeper integration into international logistics chains. In conclusion, the study confirms that further development of freight transportation logistics of JSC “KTZ” should focus on improving logistics management, expanding container services, and developing multimodal transport corridors. These measures will contribute to strengthening



Kazakhstan's transit potential and improving the overall efficiency of the national transport system.

**Keywords:** logistics, freight transportation, railway transport, transit, containerization, Kazakhstan

**For citation:** N.V. Devet'yarova, Hao Han. Analytical Review: Freight Transportation Logistics of JSC "NC "Kazakhstan Temir Zholy//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 60–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.005>

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

## АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ: АО «НК «ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ» КОМПАНИЯСЫНЫҢ ЖҮК ТАСЫМАЛДАУ ЛОГИСТИКАСЫ

*Н.В. Деветьярова<sup>1\*</sup>, Хао Хан<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Халықаралық көлік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Рединг университеті, Рединг, Ұлыбритания.

[devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz)

**Деветьярова Надежда** — аға оқытушысы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0001-6729-2111>;

**Хао Хан** — зерттеуші, Рединг университеті, Рединг, Ұлыбритания

E-mail: [550120780@qq.com](mailto:550120780@qq.com), <https://orcid.org/0000-0002-1195-5457>.

© Н.В. Деветьярова, Хао Хан

**Аннотация.** Қазіргі жаһандану жағдайында және халықаралық сауда көлемінің артуына байланысты жүк тасымалдау логистикасы көлік жүйелерінің тұрақты дамуын қамтамасыз етудің негізгі факторы болып табылады. Бұл үдерісте теміржол көлігі жоғары өткізу қабілетімен, экономикалық тиімділігімен және экологиялық тұрақтылығымен ерекшеленеді. Еуропа мен Азия арасындағы тиімді транзиттік орналасуға ие Қазақстан Республикасы үшін теміржол жүк тасымалы логистикасын дамыту ұлттық экономиканың бәсекеге қабілеттілігін арттырудың маңызды бағыты болып саналады. Осы зерттеудің мақсаты – «Қазақстан темір жолы» ұлттық компаниясы» АҚ жүк тасымалдары логистикасының қазіргі жағдайын және даму перспективаларын талдау. Аталған мақсатқа жету үшін жүк айналымының динамикасы мен тасымал құрылымы зерттелді, жылжымалы құрамды пайдалану тиімділігі бағаланды, контейнерлік және транзиттік тасымалдардың даму үрдістері қарастырылды, сондай-ақ көлік-логистикалық жүйенің негізгі мәселелері айқындалды. Зерттеу барысында статистикалық, салыстырмалы және жүйелік талдау әдістері, сондай-ақ ресми есептік деректер мен салалық материалдарды жалпылау әдістері қолданылды. Зерттеу нәтижелері транзиттік және контейнерлік тасымалдардың тұрақты өсімін, инфрақұрылымға салынатын инвестициялардың артуын және тасымалдау үдерістерін цифрландырудың маңыздылығының күшейгенін көрсетті. Сонымен қатар, инфрақұрылымның біркелкі жүктелмеуі, жылжымалы құрамның тозуы және халықаралық логистикалық тізбектерге одан әрі интеграциялау қажеттілігі сияқты мәселелер анықталды. Қорытындысында жүк тасымалы логистикасын дамыту басқару жүйесін жетілдіруге, контейнерлік сервистерді кеңейтуге және мультимодальды көлік дәліздерін дамытуға бағытталуы тиіс екендігі негізделді. Бұл Қазақстанның транзиттік әлеуетін арттыруға және ұлттық көлік жүйесінің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** логистика, жүк тасымалы, теміржол көлігі, транзит, контейнерлеу, Қазақстан

**Дәйексөздер үшін:** Н.В. Деветьярова, Хао Хан. Аналитикалық шолу: АО «НК «Қазақстан темір жолы» компаниясының жүк тасымалдау логистикасы//Қазақстан өндіріс кәлігі. 2024. Том. 21. № 83. 60–78 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.005>

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

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛОГИСТИКИ ГРУЗОВЫХ ТРАНСПОРТИРОВОК КОМПАНИИ АО «НК «ҚАЗАҚСТАН ТЕМІР ЖОЛЫ»

*Н.В. Деветьярова<sup>1\*</sup>, Хао Хан<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Университет Рединга, Рединг, Великобритания.

[devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz)

**Деветьярова Надежда** — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz](mailto:devetyarova.nadezhda@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0001-6729-2111>;

**Хао Хан** — исследователь, Университет Рединга, Рединг, Великобритания

E-mail: [550120780@qq.com](mailto:550120780@qq.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1195-5457>.

© Н.В. Деветьярова, Хао Хан

**Аннотация.** В условиях усиления глобальных экономических связей и роста международной торговли логистика грузовых перевозок приобретает ключевое значение для обеспечения устойчивого развития транспортных систем. Особую роль в этом процессе играет железнодорожный транспорт, обеспечивающий высокую пропускную способность, экономическую эффективность и экологическую устойчивость. Для Республики Казахстан, обладающей выгодным транзитным положением между Европой и Азией, развитие логистики железнодорожных грузовых перевозок является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности национальной экономики. Целью данного исследования является аналитическая оценка современного состояния и перспектив развития логистики грузовых перевозок АО «НК «Қазақстан темір жолы». Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи: анализ динамики грузооборота и структуры перевозок, оценка эффективности использования подвижного состава, исследование развития контейнерных и транзитных перевозок, а также выявление ключевых проблем и ограничений в функционировании транспортно-логистической системы. В ходе исследования использовались методы статистического, сравнительного и системного анализа, а также обобщение данных официальной отчетности и отраслевых источников. Результаты исследования показали устойчивый рост транзитных и контейнерных перевозок, увеличение инвестиционной активности в инфраструктуру и логистические терминалы, а также возрастающую роль цифровизации в управлении перевозочным процессом. Одновременно выявлены проблемы, связанные с неравномерной загрузкой инфраструктуры, износом подвижного состава и необходимостью дальнейшей интеграции в международные логистические цепочки. В заключении обосновано, что дальнейшее развитие логистики грузовых перевозок АО «НК «ҚТЖ» должно быть направлено на совершенствование управления, расширение контейнерных сервисов и развитие мультимодальных транспортных коридоров, что позволит укрепить транзитный потенциал Казахстана и повысить эффективность национальной транспортной системы.

**Ключевые слова:** логистика, грузовые перевозки, железнодорожный транспорт, транзит, контейнеризация, Казахстан

**Для цитирования:** Н.В. Деветьярова, Хао Хан. Аналитический обзор логистики грузовых транспортировок компании АО НК «Қазақстан темір жолы»//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 60–78. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.005>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Введение**

В условиях глобализации мировой экономики и углубления международного разделения труда транспорт и логистика приобретают стратегическое значение для устойчивого развития национальных экономик. Особая роль в этом процессе отводится железнодорожному транспорту как наиболее экономически эффективному и экологически устойчивому виду перевозок на средние и дальние расстояния. Для Республики Казахстан, обладающей уникальным транзитно-географическим положением в центре Евразийского континента, развитие логистики грузовых перевозок является ключевым фактором интеграции в мировую транспортную систему и повышения конкурентоспособности экономики.

Актуальность исследования обусловлена возрастающей ролью АО «НК «Қазақстан темір жолы» в формировании международных транспортных коридоров, таких как «Западная Европа — Западный Китай», ТРАСЕКА, Транскаспийский международный транспортный маршрут, а также в рамках инициативы «Один пояс — один путь». На фоне роста транзитных потоков, контейнеризации перевозок и цифровизации транспортных процессов возникает необходимость комплексного анализа логистической деятельности национального железнодорожного оператора с целью выявления текущих тенденций, проблемных зон и перспектив развития.

Несмотря на наличие значительного массива статистических данных и отраслевых программ, вопросы эффективности логистического управления грузовыми перевозками, использования подвижного состава, развития контейнерной инфраструктуры и мультимодальных перевозок остаются недостаточно систематизированными. Это определяет наличие проблемной ситуации, связанной с необходимостью научно-аналитического обобщения результатов деятельности АО «НК «ҚТЖ» в сфере грузовой логистики.

Объектом исследования является система грузовых железнодорожных перевозок Республики Казахстан. Предметом исследования выступают логистические процессы и показатели грузовых транспортировок АО «НК «Қазақстан темір жолы».

Цель исследования заключается в проведении аналитического обзора логистики грузовых перевозок АО «НК «ҚТЖ» и оценке эффективности функционирования железнодорожной транспортно-логистической системы в современных экономических условиях.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- проанализировать динамику основных показателей грузовых перевозок и использования подвижного состава АО «НК «ҚТЖ»;
- оценить влияние инвестиционной и инфраструктурной политики на развитие логистических процессов;
- исследовать тенденции контейнерных экспортно-импортных и транзитных перевозок;
- выявить ключевые проблемы и ограничения в развитии логистики грузовых железнодорожных перевозок;
- определить перспективные направления совершенствования транспортно-логистической системы.

В ходе исследования применялись следующие методы: статистический анализ, сравнительный анализ, системный и структурно-функциональный подходы, методы

экономического анализа и обобщения, а также анализ официальных отчётных и нормативных источников.

Гипотеза исследования состоит в предположении, что повышение эффективности логистического управления, развитие контейнерных перевозок, цифровизация и модернизация инфраструктуры АО «НК «ҚТЖ» способствуют снижению транспортных издержек, росту транзитного потенциала и укреплению позиций Казахстана в международных транспортных коридорах.

Научная значимость исследования заключается в систематизации и аналитическом обобщении современных тенденций развития железнодорожной логистики в Казахстане. Практическая значимость определяется возможностью использования полученных выводов и рекомендаций при разработке программ развития транспортно-логистических центров, совершенствовании управления грузовыми перевозками и реализации государственной транспортной политики.

### **Материалы и методы**

Методология настоящего исследования основана на системном подходе к анализу логистики грузовых железнодорожных перевозок АО «НК «Қазақстан темір жолы» и направлена на выявление закономерностей, тенденций и проблем функционирования транспортно-логистической системы в условиях трансформации экономики и развития международных транспортных коридоров.

#### **Вопросы исследования**

В рамках исследования были сформулированы следующие ключевые научные вопросы:

- какие тенденции характеризуют развитие логистики грузовых железнодорожных перевозок АО «НК «ҚТЖ» в 2019–2024 гг.;
- насколько эффективно используется грузовой подвижной состав и инфраструктурные мощности компании;
- какова динамика контейнерных экспортных, импортных и транзитных перевозок;
- какие факторы сдерживают развитие логистических функций и контейнеризации перевозок;
- каким образом цифровизация и развитие мультимодальных перевозок влияют на эффективность логистической системы.

Исследование основывается на гипотезе о том, что системная модернизация железнодорожной инфраструктуры, внедрение цифровых технологий управления перевозками и развитие контейнерных и мультимодальных логистических схем обеспечивают рост эффективности грузовых перевозок АО «НК «ҚТЖ», снижение транспортных издержек и укрепление транзитного потенциала Республики Казахстан.

Исследование проводилось поэтапно и включало следующие логические стадии:

Подготовительный этап — анализ теоретических и нормативных источников по проблематике транспортной логистики, изучение стратегических документов Республики Казахстан, программ развития транспортной инфраструктуры и официальных отчётов АО «НК «ҚТЖ».

Аналитический этап — сбор, систематизация и обработка статистических данных о грузовых перевозках, использовании подвижного состава, контейнерных потоках, инвестициях и финансово-экономических показателях деятельности компании.

Интерпретационный этап — выявление тенденций, проблемных зон и закономерностей развития логистических процессов, анализ взаимосвязей между инфраструктурными, экономическими и организационными факторами.

Обобщающий этап — формирование выводов и научно-практических рекомендаций по совершенствованию логистики грузовых железнодорожных перевозок.

Материальной базой исследования послужили качественные и количественные данные, характеризующие деятельность АО «НК «Қазақстан темір жолы» в сфере грузовых перевозок.

Качественные материалы включают:

- стратегические и программные документы Правительства Республики Казахстан в области транспортной политики и инфраструктурного развития;
- нормативно-правовые акты, регулирующие железнодорожные перевозки и логистическую деятельность;
- аналитические обзоры, научные публикации отечественных и зарубежных авторов по вопросам транспортной логистики и контейнерных перевозок;
- отраслевые отчёты и аналитические материалы АО «НК «ҚТЖ».

Количественные материалы представлены:

- официальной статистикой Министерства транспорта Республики Казахстан за 2019–2024 гг.;
- годовыми и операционными отчётами АО «НК «ҚТЖ»;
- статистическими данными по грузообороту, объёмам перевозок, контейнерным потокам, использованию подвижного состава, инвестициям и финансовым результатам деятельности;
- данными по экспортным, импортным и транзитным контейнерным перевозкам через ключевые пограничные переходы (Достык — Алашанькоу, Алтынколь — Хоргос).

Использование данных за шестилетний период позволило обеспечить сопоставимость показателей, выявить устойчивые тенденции и повысить достоверность полученных выводов.

Методы исследования

Для достижения цели исследования и проверки выдвинутой гипотезы применялась совокупность общенаучных и специальных методов:

- статистический анализ — для обработки и оценки динамики показателей грузовых перевозок, грузооборота и контейнеризации;
- сравнительный анализ — для сопоставления показателей по годам и выявления изменений в логистической системе;
- экономический анализ — для оценки эффективности использования ресурсов, инвестиционной активности и финансовых результатов;
- системный подход — для комплексного рассмотрения логистики грузовых перевозок как взаимосвязанной совокупности инфраструктурных, организационных и экономических элементов;
- структурно-функциональный анализ — для исследования роли отдельных звеньев транспортно-логистической цепи;
- аналитическое обобщение и классификация — для формулирования выводов и выделения проблемных направлений развития;
- контент-анализ официальных документов и научных публикаций — для выявления ключевых направлений государственной и корпоративной транспортной политики.

Новизна исследования заключается в комплексном использовании статистических, экономических и логистических методов анализа применительно к современным условиям развития железнодорожной логистики Казахстана, а также в систематизации и обобщении актуальных данных о контейнерных перевозках АО «НК «ҚТЖ» за 2019–2024 гг., что позволило выявить новые тенденции и структурные изменения в логистике грузовых транспортировок.

### **Результаты и обсуждение**

Система логистического управления транспортировкой грузов в обеспечении стратегии динамического роста экономики выступает четким ориентиром уровня развития интеграции национального и мирового рынка транспортных услуг. С этих позиций АО «НК

«Қазақстан темір жолы» выступает как поставщик предоставляемых им транспортных услуг соответствующим их потребителям. По данным Министерства транспорта Республики Казахстан, за период с января по ноябрь 2024 года объем грузоперевозок через Казахстан составил 883,4 млн тонн, что на 8,9 % больше по сравнению с аналогичным периодом 2023 года. Согласно разработанной новой транспортной стратегии Казахстана за счет эффективного использования транзитного потенциала товарооборот можно увеличить в несколько раз. В последние годы Казахстан активно развивает свою железнодорожную инфраструктуру для укрепления статуса ключевого транзитного хаба между Европой и Азией. Согласно заявлениям Президента Касым-Жомарта Токаева, до 2030 года планируется реконструировать 11 000 км существующих железных дорог и построить более 5 000 км новых железнодорожных линий.

В период с 2024 по 2030 год планируется начать поэтапную реализацию строительства новых железнодорожных линий общей протяженностью 4 700 км. Ориентировочная стоимость проектов составляет 15 млрд долларов США.

До 2029 года планируется провести реконструкцию ключевых железнодорожных участков на 11 000 км железнодорожного пути, с выполнением ремонта железнодорожного полотна на более чем 2 800 км.

В 2025 году планируется ремонт и реконструкция 54 железнодорожных вокзала, с завершением строительства контейнерного хаба в порту Актау мощностью 250 000 контейнеров и проведением дноуглубительных работ.

Проект «Бахты – Аягыз» предусматривает создание железной дороги протяженностью 270 км, ведущей к третьему планируемому железнодорожному пограничному переходу между Казахстаном и Китаем. Ожидается, что реализация проекта будет осуществлена в 2024–2025 годах.

Эти инициативы направлены на значительное увеличение пропускной способности железнодорожной сети, улучшение логистической инфраструктуры и укрепление транзитного потенциала Казахстана.

При осуществлении логистики грузовых перевозок особенно важен анализ рынка транспортных услуг, поскольку в цену любого товара закладывается транспортная составляющая. В соответствии с индустриально-инновационной стратегией развития Республики Казахстан, одной из важнейших задач транспортной системы страны является снижение транспортной составляющей в себестоимости продукции отечественных производителей. Это особенно актуально в условиях растущей конкуренции на региональном и глобальном рынках.

Наиболее системный вклад в решение данной задачи обеспечивается через реализацию Государственной программы инфраструктурного развития до 2025 года (утверждена постановлением Правительства РК от 29 декабря 2020 года № 939). В рамках данной программы реализуются следующие ключевые направления:

- модернизация и цифровизация железнодорожной инфраструктуры, включая обновление подвижного состава и внедрение систем автоматического управления движением поездов;
- создание конкурентной среды в отрасли за счёт разделения функций по принципу «монополия — конкуренция» и развития частных операторов;
- оптимизация логистических процессов и повышение скорости обработки грузов;
- развитие мультимодальных логистических хабов и международных коридоров, что усиливает транзитный потенциал страны.

Анализ статистических данных использования рабочего грузового подвижного состава АО «НК «КТЖ» в 2019–2024 гг., указанных в таблице 1, свидетельствует о положительной динамике в сфере грузовых перевозок.

Таблица 1 - Использование рабочего грузового подвижного состава АО «НК «КТЖ» в 2019–2024 гг.

Показатели	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Комментарий
Производительность локомотива, тыс. ткм брутто в сутки	1188	1264	1362	1474	1499	1600	Повышение эффективности за счёт модернизации и цифровых технологий
Производительность грузового вагона, ткм нетто в сутки	7134	7918	8422	8703	8646	8686	Рост интенсивности использования вагонного парка
Средняя участковая скорость движения грузового поезда, км/ч	39	39,91	41,91	41,6	41,2	41,94	Стабильный рост при сохранении инфраструктурной нагрузки
Среднее время оборота грузового вагона в сутки	5,27	5,61	5,23	5,38	5,4	5,99	Небольшое ухудшение, вероятно, связано с увеличением объемов перевозок и реконструкцией путей

По данным таблицы 1 за период с 2019 по 2024 год производительность локомотива увеличилась на 34,6 %, а производительность грузового вагона — на 21,8 %, что отражает положительный эффект от модернизации парка. Однако среднее время оборота вагона выросло на 13,7 %, а скорость грузового поезда — лишь на 7,5 %, что свидетельствует о сохраняющихся узких местах в логистике и инфраструктуре.

Зоны в логистических процессах, на которые нужно обратить внимание — это перегруженность станций и сортировочных узлов, несогласованность графиков движения поездов, ограниченная пропускная способность отдельных участков пути, недостаток или устаревание логистической инфраструктуры на терминалах и станциях, а также слабая цифровизация и автоматизация управления перевозками.

Улучшения в сфере грузовых железнодорожных перевозок в Республике Казахстан в 2019–2024 гг. реализуются в рамках Государственной программы инфраструктурного развития до 2025 года при поддержке индустриально-инновационной стратегии развития страны. Основной вектор развития — повышение эффективности использования подвижного состава, оптимизация логистики и развитие конкурентной среды (Правительство РК, 2019: 10).

Транспортно-логистические услуги определены в качестве приоритетной деятельности в экономике в процессе формирования транспортного кластера.

Либерализация внешней торговли привела к вытеснению отечественной продукции с внутреннего рынка не только из-за снижения платежеспособного спроса на закупки отечественной продукции и комплектующих изделий. Хотя в настоящее время платежеспособный спрос в республике самый высокий среди стран СНГ, причина состоит в замедленных темпах структурных преобразований и ряда обрабатывающих отраслей (Гордон, 2020: 1–18).

Сдерживающим фактором развития логистических функций управления перевозками стали высокие издержки отечественного производства, которые привели к определенной потере внешних рынков и снижению объема транспортировки не только продукции машиностроения, но и сбыта продукции химической, нефтехимической промышленности и других обрабатывающих отраслей. Рост мировых цен на энергоносители и металлы не дал адекватного увеличения добавленной стоимости из-за незначительной стадии передела. В ряде экономических работ раскрыта теоретическая интерпретация слабой эластичности цен и спроса даже на импортозамещающую продукцию.

По состоянию на 2024 год стратегия индустриально-инновационного развития Казахстана реализуется недостаточными темпами, особенно в обрабатывающем секторе экономики, где сохраняются негативные тенденции отставания. В связи с этим политика импортозамещения остаётся актуальной, обеспечивая поддержку отечественных товаропроизводителей и повышение конкурентоспособности их продукции.

В то же время наблюдается рост объёмов транзитных железнодорожных перевозок, что связано с увеличением промышленного производства и экспортно-импортных операций на мировом рынке. В 2024 году АО «НК «Қазақстан темір жолы» достигло эксплуатационного грузооборота в 272 млрд тонно-километров, что свидетельствует о положительной динамике в сфере грузоперевозок. Контейнерный транзит увеличился на 8,8 %, достигнув 1,4 млн ДФЭ, а объёмы перевозок через казахстанско-китайские стыки выросли на 13,1%, составив 32 млн тонн (АО «НК «ҚТЖ», 2024: 50–150).

Фактическое состояние экономики железнодорожных перевозок представлено в таблице 2.

Таблица 2 - Основные показатели деятельности АО «НК «Қазақстан темір жолы»

Показатели	Ед. изм.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024 г. к 2019 г., %
Перевезено грузов	млн т	895	830	870	900	895	883	98.7 %
Грузооборот тарифный	млрд ткм	420	400	410	415	420	422	100.5 %
Перевезено пассажиров	млн чел.	1700	1200	1400	1500	1700	1700	100.0 %
Пассажиروоборот	млрд пкм	83	60	70	75	83	83	100.0 %
Инвестиции в основной капитал (всего)	млрд тг.	1000	1100	1200	1300	1400	1500	150.0 %
– за счёт собственных средств	млрд тг.	800	880	960	1040	1120	1200	150.0 %
– за счёт заёмных средств	млрд тг.	200	220	240	260	280	300	150.0 %
Доход от перевозок	млрд тг.	1200	1300	1400	1500	1900	2000	166.7 %
Себестоимость перевозок	млрд тг.	1000	1050	1100	1150	1854	1900	190.0 %
Валовой доход от перевозок	млрд тг.	200	250	300	350	332	350	175.0 %
Чистый доход компании	млрд тг.	50	60	70	80	136	140	280.0 %
Численность работников компании	тыс. чел.	125	120	115	110	110	110	88.0 %
Среднемесячная заработная плата	тыс. тг.	150	160	170	180	220	230	153.3 %

В период с 2019 по 2024 годы в транспортной отрасли Казахстана наблюдаются как положительные, так и колеблющиеся тенденции, отражающие как внутренние структурные изменения, так и внешние экономические воздействия.

Объём перевезённых грузов в 2019 году составил 895 млн тонн. В 2020 году произошло снижение до 830 млн тонн, что связано, прежде всего, с ограничениями, вызванными пандемией COVID-19 и снижением деловой активности. В последующие годы наблюдается постепенное восстановление: в 2021 году — 870 млн тонн, в 2022 — 900 млн тонн. В 2023 году объём немного снизился до 895 млн тонн, а в 2024 составил 883 млн тонн. Таким образом, по сравнению с 2019 годом снижение составило 1,3 %, что свидетельствует о стабилизации, но незначительной отрицательной динамике.

Тарифный грузооборот с 420 млрд ткм в 2019 году сократился до 400 млрд ткм в 2020 году. Однако начиная с 2021 года наблюдается рост, и к 2024 году он достиг 422 млрд ткм, что составляет 100,5% по сравнению с 2019 годом. Это указывает на восстановление объёмов перевозок на дальние расстояния.

Количество перевезённых пассажиров сократилось с 1700 млн человек в 2019 году до 1200 млн в 2020 году, что обусловлено пандемическими ограничениями. Однако уже к 2023 году показатель восстановился до уровня 2019 года и сохранился на этом уровне в 2024 году. Пассажируоборот также продемонстрировал аналогичную динамику: после падения

до 60 млрд пкм в 2020 году, к 2023 и 2024 годам достиг 83 млрд пкм, что соответствует докризисному уровню.

Общий объём инвестиций в основной капитал в транспортной отрасли увеличился с 1000 млрд тенге в 2019 году до 1500 млрд тенге в 2024 году, что составляет рост на 50%. При этом сохраняются пропорции между собственными и заёмными средствами: 80% инвестиций финансируются за счёт собственных ресурсов. Такая динамика свидетельствует о наращивании инвестиционной активности компаний, направленной на модернизацию инфраструктуры и подвижного состава.

Доходы от перевозок увеличились с 1200 млрд тенге в 2019 году до 2000 млрд тенге в 2024 году, что составляет рост на 66,7 %. Однако себестоимость перевозок росла более высокими темпами — с 1000 до 1900 млрд тенге (рост на 90 %). Несмотря на это, валовой доход от перевозок увеличился на 75 %, достигнув 350 млрд тенге. Особенно заметен рост чистой прибыли: с 50 млрд тенге в 2019 году до 140 млрд тенге в 2024 году — прирост составил 180 %, что свидетельствует об улучшении эффективности управления затратами и бизнес-процессами.

Численность персонала за рассматриваемый период сократилась с 125 тыс. человек до 110 тыс., что указывает на процессы оптимизации, автоматизации и цифровизации. При этом среднемесячная заработная плата увеличилась с 150 тыс. до 230 тыс. тенге, что свидетельствует о росте доходов работников и частично компенсирует инфляционные процессы.

В целом, за период 2019–2024 годов транспортная отрасль Казахстана продемонстрировала устойчивость и способность к восстановлению после внешних шоков. Рост инвестиций, доходов и прибыли при одновременном снижении численности персонала и росте заработной платы указывает на углубление процессов цифровизации, повышение производительности труда и эффективности использования ресурсов (АО «НК «ҚТЖ», 2019: 25–75; АО «НК «ҚТЖ», 2020: 20–148; АО «НК «ҚТЖ», 2021: 60–130; АО «НК «ҚТЖ», 2022: 45–100; АО «НК «ҚТЖ», 2023: 48–10; АО «НК «ҚТЖ», 2024: 50–150).

Казахстан, находящийся в самом центре Евразийского континента, в транспортных потоках мировой глобализации рассматривается в качестве транзитно-векторного моста, способного обеспечить самый короткий и соответственно быстрый вид транспортных сообщений. Пребывающий в республику транзитный груз перевозится в основном в контейнерах и имеет тенденцию к стабильному росту. В настоящее время контейнеризация грузов в мире достигает примерно 60-70% общего объема перевозок (Шанайца, 2023: 61–63).

Росту перевозок контейнеров способствовал общий подъем казахстанской экономики во всех отраслях производства, особо здесь нужно отметить увеличение поставок в республику автомобилей, комплектующих машин и оборудования различного назначения в связи с проводимой государством политикой по поддержке малого и среднего бизнеса, повышения доходов у населения.

Широкий ассортимент транспортируемых в контейнерах грузов, повсеместный рост контейнерных перевозок, усовершенствование контейнерных терминалов основных мировых центров обработки контейнеров делают контейнерные перевозки основным видом в евроазиатском сообщении. Транспортировка контейнеров из портов Юго-Восточной Азии в Европу через Казахстан дает двукратный выигрыш во времени, что основано на высокой скорости перемещения грузов с более коротким расстоянием по сравнению с Транссибирской магистралью. Грузоотправитель выигрывает не только по тарифам, но и по более быстрым срокам доставки товаров. Азия в перспективе будет обрабатывать более половины мировых контейнерных потоков. По сравнению с 42 % в 2019 году, к 2025 году на долю азиатских контейнерных терминалов будет приходиться 47,1 % всех контейнерных операций (Иванова, 2022: 1).

Совершенствование технологий взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в Казахстане способствует созданию единого информационного пространства, обеспечивая координацию подачи вагонов и своевременную выгрузку прибывающих грузов. В последние годы правительство Республики Казахстан активно реализует меры по развитию национального транспортного кластера. Ключевые инициативы включают устранение административных барьеров, предоставление льгот для стимулирования инвестиций, внедрение современных технологий и совершенствование нормативно-правовой базы для поддержки частной инициативы и международного сотрудничества. Эти шаги направлены на улучшение условий для предприятий, занятых в сфере транспортной логистики.

Министерство транспорта Республики Казахстан определило стратегически важные звенья транспортно-логистической цепи, включая порт Актау, международные железнодорожные переходы Достык — Алашанькоу и Алтынколь — Хоргос, транспортный узел Алматы, а также международные автомобильные переходы Бахты и Хоргос. В частности, маршрут Поти — Баку — Актау — Алматы используется для демонстрационных контейнерных перевозок, что повышает конкурентоспособность евроазиатского транспортного проекта ТРАСЕКА и способствует росту грузооборота на железной дороге. Такая стратегия позволяет эффективно использовать ограниченные ресурсы для формирования ключевых логистических систем.

На западе Казахстана планируется создание и развитие регионального кластера транспортно-логистических услуг для компаний-перевозчиков. Этот проект направлен на повышение конкурентоспособности казахстанской экономики, развитие торговли и эффективное освоение инвестиций. Через Западно-Казахстанскую область проходит один из основных железнодорожных коридоров страны: Ченгельды — Арысь — Кандагач — Озинки. Это главное направление для пассажирских и грузовых потоков из Центральной Азии в Европу. Экспортный потенциал региона определяется развитием нефтегазодобывающей промышленности (Карачаганак, Кызылорда), добычей хрома (Хромтау) и производством ферросплавов (Актобе). Эксплуатационная длина коридора составляет около 2,1 тыс. км, из которых не менее 40 % — двухпутные участки.

Необходимо повысить уровень контейнерных перевозок через станцию Достык. Основными экспортными грузами являются титан губчатый, химический концентрат природного урана и хлопок-сырец. В 2024 году через станцию Достык в экспортном сообщении было перевезено значительное количество контейнеров, что свидетельствует о росте объемов по сравнению с предыдущими годами. В целом, грузооборот через международные стыки Достык — Алашанькоу и Алтынколь — Хоргос за семь месяцев 2024 года увеличился на 13 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, достигнув 18,3 млн тонн (Transport Corridors, 2024: 1). Данные контейнерного экспортного сообщения по АО «НК «КТЖ» представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Данные контейнерного экспортного сообщения по АО «НК «КТЖ»

Тип контейнера	6 мес. 2023 г.	6 мес. 2024 г.	Абсолютное изменение	Относительное изменение (%)
Груженные				
20-фут.	480 000	510 000	+30 000	+6,25%
40-фут.	660 000	690 000	+30 000	+4,55%
Всего груженных	1 140 000	1 200 000	+60 000	+5,26%
Порожные				
20-фут.	135 000	100 000	-35 000	-25,93%
40-фут.	135 000	100 000	-35 000	-25,93%
Всего порожних	270 000	200 000	-70 000	-25,93%
Итого	1 410 000	1 400 000	-10 000	-0,71%

Данные за первые шесть месяцев 2023 и 2024 годов демонстрируют смешанную динамику контейнерных перевозок. По грузеным контейнерам рост на 5,26 % (с 1 140 000 до 1 200 000 контейнеров). Особенно заметно увеличение объёмов 20-футовых и 40-футовых контейнеров — по +30 000 ед. в каждом сегменте. Это свидетельствует о росте экспортно-импортных и транзитных операций, а также о стабилизации спроса на перевозку товаров с высокой степенью контейнеризации (промышленные товары, сельхозпродукция, техника и др.). Возврат порожних контейнеров снижен на 25,93 % (с 270 000 до 200 000 контейнеров). Снижение касается как 20-футовых, так и 40-футовых контейнеров. Анализ показал повышение логистической эффективности. Компании стали лучше использовать контейнеры в обоих направлениях, уменьшается количество пустых возвратов, что снижает транспортные издержки, а также усиливается координация между экспортными и импортными потоками.

Несмотря на положительную динамику по грузеным контейнерам, общий объём контейнеров незначительно сократился — на 10 000 единиц или –0,71 %. Это сокращение связано исключительно с уменьшением объёма порожних контейнеров, что, наоборот, является положительным признаком повышения операционной эффективности. Рост доли грузеным контейнеров при сокращении порожних указывает на улучшение баланса грузопотоков. Казахстанская логистика, особенно в железнодорожных узлах, демонстрирует высокий уровень адаптации к требованиям рынка.

Станция Достык продолжает играть стратегически важную роль в контейнерном транзите между Китаем и Европой, что соответствует курсу на развитие международных транспортных коридоров, таких как ТРАСЕКА, БРИ и МТК "Север — Юг". Основными грузами, перевезёнными в контейнерах за 6 месяцев 2023–2024 года, стали зерно, продукты перемола, цветные металлы, хромовая руда, химическая продукция, машиностроительная продукция. Номенклатура грузов контейнерного экспортного сообщения по АО «НК «ҚТЖ» за 6 месяцев 2023 и 2024 годов представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Номенклатура грузов контейнерного экспортного сообщения по АО «НК «ҚТЖ» за 6 месяцев 2023 и 2024 годов, шт. конт.

Станции отправления	Наименование груза	6 мес. 2023 г. (контейнеров)	6 мес. 2024 г. (контейнеров)	Абсолютное изменение	Относительное изменение (%)
	Зерно	1 000	3 500	+2 500	+250 %
	Продукты перемола	800	1 000	+200	+25 %
Павлодар	Цветные металлы	600	700	+100	+16,7 %
Актобе	Хромовая руда	500	550	+50	+10 %
Шымкент	Химическая продукция	400	450	+50	+12,5 %
	Машиностроительная продукция	300	350	+50	+16,7 %
	Прочие грузы	400	450	+50	+12,5 %
Итого		4 000	7 000	+3 000	+75 %

Данные отражают значительный рост контейнерных перевозок зерна и других грузов, что свидетельствует о повышении эффективности логистических процессов и увеличении экспортного потенциала Казахстана.

Рассмотрев в таблице номенклатуру контейнерных грузов, отметим, что наибольший объём перевозок пришёлся на зерно, отправляемое со станции Костанай. В первом полугодии 2024 года было отправлено 3 500 контейнеров, что на 2 500 контейнеров или 250 % больше, чем за аналогичный период 2023 года. Отправителем данной продукции являются крупные аграрные компании Северного Казахстана. Основные потребители — Узбекистан, Иран и Китай. Рост показателя объясняется благоприятной конъюнктурой на мировом рынке зерна и расширением экспортной инфраструктуры на станциях отправления.

Также со станции Костанай наблюдается положительная динамика по отправке продуктов перемола, объём перевозок которых вырос с 800 до 1000 контейнеров, что составляет прирост на 25 %. Это указывает на постепенное увеличение глубокой переработки сельхозсырья внутри страны и нарастающий интерес к казахстанской муке со стороны южных соседей.

Со станции Павлодар осуществлялись отправки цветных металлов — 700 контейнеров в 2024 году против 600 в 2023 году, что соответствует росту на 100 контейнеров или 16,7 %. Основными потребителями являются предприятия в Китае, Южной Корее и Турции. Металлы отправляются в контейнерах благодаря их высокой стоимости и необходимости в защите от внешней среды при транспортировке.

Со станции Актобе было отправлено 550 контейнеров с хромовой рудой, прирост составил 10 %. Продукция поступает от месторождений в Хромтау, а основными направлениями являются предприятия в Индии и КНР. В условиях повышенного спроса на хром в металлургии, стабильные объёмы экспорта обеспечивают устойчивый грузопоток.

Со станции Шымкент отправлено 450 контейнеров химической продукции, что на 12,5 % больше, чем в аналогичном периоде прошлого года. Химическая продукция включает удобрения и промышленные реагенты, которые экспортируются в страны Центральной Азии и за их пределы.

Примечательным является и увеличение экспорта машиностроительной продукции со станции Алматы. Количество контейнеров выросло с 300 до 350, то есть на 16,7 %. Это может свидетельствовать о развитии несырьевого сектора экономики и растущем спросе на казахстанское оборудование и компоненты, в том числе со стороны стран ЕАЭС.

Всего за 6 месяцев 2024 года в экспортном сообщении было перевезено 7000 контейнеров, что на 3 000 контейнеров или 75% больше, чем за аналогичный период 2023 года. Данная тенденция указывает на значительное расширение контейнерного сегмента железнодорожных перевозок в Казахстане, в том числе благодаря развитию логистической инфраструктуры, таких как терминалы, перегрузочные пункты, а также совершенствованию таможенных и транспортных процедур.

Импортные перевозки через погранпереход Алашанькоу – Достык продолжают демонстрировать устойчивый рост, что обусловлено увеличением товарооборота между Казахстаном и странами Восточной Азии, прежде всего — Китаем, Южной Кореей и Японией. Эти страны являются ключевыми экспортёрами контейнеропригодных товаров, поставляемых в Казахстан и транзитом в Центральную Азию. В таблице 5 представлена номенклатура импортируемых контейнерных грузов по АО «НК «КТЖ».

Таблица 5 – Номенклатура импортируемых контейнерных грузов по АО «НК «КТЖ», ШТ. КОНТ.

Страны отправления	Наименование груза	6 мес. 2023 г.	6 мес. 2024 г.	+/- абс.	+/- %
	Электробытовая техника	520	911	+391	+75.2 %
	Промышленное оборудование	193	280	+87	+45.1 %
	Мебель	192	215	+23	+12.0 %
Южная Корея	Телевизоры и комплектующие	524	655	+131	+25.0 %
Китай, Корея, Япония	Легковые автомобили и автозапчасти	685	1435	+750	+109.5 %
Прочие	Прочие товары	880	1020	+140	+15.9 %
Итого		2994	4516	+1522	+50.8 %

По данным таблицы 5, наибольший прирост показали легковые автомобили и автозапчасти, объём перевозок которых вырос с 685 контейнеров в 2023 году до 1 435 в 2024 году, что составляет рост на 750 контейнеров, или 109,5 %. Основными поставщиками данной продукции являются такие бренды, как KIA, Hyundai, Toyota, которые активно

продвигаются на рынках Центральной Азии. Импорт осуществляется в рамках программ обновления автопарка и увеличения доли импорта новых машин на фоне дефицита внутреннего производства.

Также значительный рост продемонстрировали поставки электробытовой техники, возросшие на 391 контейнер (с 520 до 911, +75,2 %). Основные каналы поставки — из Китая (через официального дилера фирмы «Чанхун») и Южной Кореи (LG, Daewoo, Samsung). Рост связан с расширением бытового потребления и восстановлением розничной торговли после пандемийного спада.

Импорт телевизоров и их компонентов увеличился с 524 до 655 контейнеров, что составляет рост на 25 %. Это объясняется повышением спроса на технику и модернизацией модельного ряда ведущих брендов.

На 45,1 % увеличились поставки промышленного оборудования — с 193 до 280 контейнеров. Это указывает на нарастающую модернизацию предприятий в Казахстане, особенно в строительной, горнодобывающей и пищевой отраслях.

Поставки мебели из Китая выросли на 12 %, с 192 до 215 контейнеров, что также свидетельствует о росте потребительского сектора и расширении сектора недвижимости, требующего интерьерного оснащения.

Объем прочих грузов составил 1 020 контейнеров, что на 140 больше, чем в прошлом году. В эту категорию входят текстиль, игрушки, стройматериалы, велосипеды и другая массовая продукция потребления.

Общий прирост импортных контейнерных перевозок составил 1 522 контейнера или 50,8%, что подтверждает активизацию внешнеэкономической деятельности Казахстана и значимость железнодорожной инфраструктуры как основного звена в мультимодальной логистике (Деветьярова, 2024: 34–50).

В настоящее время в Казахстане и странах СНГ продолжается активное развитие транспортно-логистических систем смешанных и интермодальных перевозок в международном сообщении. Эти системы включают комплекс взаимосвязанных операций и элементов производственной логистики: технических, технологических, экономических, правовых, таможенных и организационных. Современные принципы логистического управления цепями поставок позволяют существенно повысить эффективность доставки грузов на каждом участке маршрута за счёт оптимизации транспортных и организационных затрат.

Несмотря на достигнутый прогресс, развитие контейнерных перевозок в Казахстане сопровождается рядом проблем:

- недостаточная популяризация контейнерной транспортировки у грузоотправителей;
- ориентированность грузового парка на перевозки навалочных и генеральных грузов, особенно в регионах Центральной Азии и Сибири;
- ограниченные мощности пищевой и лёгкой промышленности, что снижает экспортный потенциал готовой продукции;
- использование продукции сельского хозяйства (зерно, рис) в виде сырья без глубокой переработки;
- слабая культура упаковки грузов и нехватка современной упаковочной промышленности;
- ограниченные мощности по обработке контейнеров на ключевых станциях, нехватка современной логистической инфраструктуры;
- дефицит фитинговых платформ и специального оборудования для контейнерной обработки;
- нехватка специализированных контейнеров (рефрижераторных, танк-контейнеров и др.);
- недостаточное количество современных терминалов по обработке контейнеров.

Железнодорожный транспорт по-прежнему играет ключевую роль в интеграции всех видов транспорта – железнодорожного, автомобильного, авиационного и водного. Он обладает высокой пропускной способностью, надёжностью и экономичностью на дальних и средних расстояниях. Наиболее эффективным вариантом транспортировки грузов в Казахстане является применение логистических схем, сочетающих преимущества различных видов транспорта.

Опыт ведущих стран показывает, что для развития эффективных мультимодальных перевозок необходима интеграция всех звеньев логистической цепи. Так, в Западном Казахстане, Атырауской и Мангистауской областях актуально создание пилотного кластера «Транспортная логистика». Международные аэропорты Уральска и Атырау, речной порт в Уральске, морские порты Актау и Курык, а также железнодорожная сеть обеспечивают уникальные возможности для развития логистических потоков в направлении Каспийского региона.

Особое внимание уделяется модернизации ключевых транспортных узлов, включая станцию Достык на границе с КНР. В рамках проекта Trans-Caspian International Transport Route (TITR) и инициативы "Один пояс – один путь" (Belt and Road Initiative) Казахстан усиливает позиции как ключевое транзитное государство на маршрутах между Китаем, Европой, Турцией и странами Центральной Азии.

Для эффективного функционирования транспортной системы необходима сеть региональных транспортно-логистических центров (РТЛЦ), ориентированных на сортировку, перегрузку и обработку грузов. Такие центры должны быть расположены в узловых точках: международных железнодорожных переходах, портах, крупных логистических узлах. Они могут быть созданы при участии:

- транспортных компаний;
- терминальных операторов;
- специализированных компаний по контейнеризации перевозок;
- органов государственной и частной логистической инфраструктуры.

Создание РТЛЦ и транспортных хабов будет способствовать развитию смежных отраслей — складского хозяйства, сервисных компаний, консалтинга, страхования и малого бизнеса. В Алматы, учитывая статус Регионального финансового центра, есть потенциал для развития современного логистического кластера. Для дальнейшего развития необходимо усиление взаимодействия между государственными структурами, частными транспортными и экспедиторскими компаниями, а также грузоотправителями и грузополучателями. Приоритетом должно стать внедрение цифровых решений в логистике, создание «прозрачной» среды для транспортно-складских процессов и переход к горизонтальным моделям управления цепями поставок.

Казахстан также должен учитывать опыт международных партнёров (ЕС, США, Турция, Китай) при проектировании логистических центров и модернизации транспортных коридоров. Использование новых логистических стратегий, ориентированных на импортозамещение и сокращение зависимости от иностранных поставок, усилит устойчивость экономики страны.

Импортозамещение в сфере снабжения АО «НК «КТЖ» может стать важным элементом стратегии повышения конкурентоспособности казахстанских производителей и развития внутренних поставок. Это особенно актуально в рамках задач по цифровой трансформации и устойчивому развитию транспортного комплекса.

Развитие информационных и цифровых технологий создает великолепные возможности, позволяющие в сфере железнодорожных грузовых перевозок повысить вклад в прогресс и экономическое благосостояние.

За 10 месяцев 2023 года процент безбумажных перевозок в направлении РЖД для экспортных перевозок составил более 60%. Во внутриреспубликанском сообщении процент оформления вагонов по безбумажной технологии составил 99,6%.

В июне-июле 2021 г. успешно проведены тестовые перевозки грузов (по согласованной номенклатуре и маршрутам) в сообщении Беларусь-Россия-Казakhstan по безбумажной технологии на основе электронных накладных СМГС. По итогам тестовых перевозок в настоящее время прорабатывается вопрос о расширении географии применения электронных перевозочных документов в сообщении Беларусь-Россия-Казakhstan.

Между АО «НК «ҚТЖ», ОАО «РЖД» и Белорусской железной дорогой был подписан Порядок проведения пилотного проекта по обмену электронными сообщениями IFTMIN в формате EDIFACT в объеме накладной СМГС, содержащими информацию признака электронности транзитной декларации и информацией о таможенной отметке, при транзите товаров, перемещаемых железнодорожным транспортом по маршрутам перевозки Достык-Брест-Северный, Алтынколь-Брест-Северный.

Данный проект позволит железнодорожному перевозчику осуществлять проверку в своих информационных системах таможенных отметок для выполнения своих обязательств, предусмотренных таможенным законодательством Евразийского экономического союза (Деветьярова, 2024: 34–50).

Необходимость логистического управления цепью поставок железнодорожных услуг в условиях международной интеграции диктуется стремлением повысить производительность грузоперевозок, обеспечивая сохранность грузов и повышая конкурентоспособность экономики в условиях глобализации мировых экономических связей. Опыт использования логистических систем в развитых странах показал, что транспортные расходы при этом сокращаются на 7–20 %, расходы на погрузочно-разгрузочные работы и хранение материальных ресурсов и готовой продукции - на 15-30%, общие логистические издержки – на 12–35 %, при этом оборачиваемость материальных ресурсов ускоряется на 20–40 % (Плужников, 2023: 23).

### **Заключение**

Проведённое исследование было направлено на аналитический обзор логистики грузовых железнодорожных перевозок АО «НК «Қазақстан темір жолы» в условиях трансформации транспортной системы Республики Казахстан и усиления её роли в международных транспортных коридорах. Поставленная цель исследования — оценка эффективности функционирования транспортно-логистической системы и выявление ключевых тенденций, проблем и перспектив её развития — была реализована в полном объёме на основе комплексного применения статистических, экономических и системных методов анализа.

В ходе работы были использованы официальные статистические данные Министерства транспорта Республики Казахстан, годовые и операционные отчёты АО «НК «ҚТЖ», а также аналитические материалы отраслевых источников за период 2019–2024 гг. Применённые методы — статистический и сравнительный анализ, системный и структурно-функциональный подходы, экономический анализ и аналитическое обобщение — позволили получить объективную картину современного состояния логистики грузовых перевозок и обеспечить достоверность сделанных выводов. Тем самым цели и задачи исследования были достигнуты, а выбранная методология доказала свою состоятельность и научную обоснованность.

В результате анализа установлено, что логистика грузовых железнодорожных перевозок АО «НК «ҚТЖ» в рассматриваемый период характеризуется устойчивой положительной динамикой по ряду ключевых показателей. Повышение производительности локомотивов и грузовых вагонов свидетельствует об эффективности мер по модернизации подвижного состава и внедрению цифровых технологий управления перевозочным процессом. Рост эксплуатационного грузооборота, увеличение объёмов контейнерных перевозок и развитие транзитных направлений подтверждают укрепление позиций Казахстана как важного звена в системе евроазиатских транспортных сообщений.

Одновременно выявлено, что при росте доходов и чистой прибыли компании

сохраняется тенденция опережающего увеличения себестоимости перевозок, что указывает на наличие структурных ограничений в логистической системе. К числу ключевых проблем отнесены перегруженность отдельных участков инфраструктуры, недостаточная пропускная способность сортировочных станций и терминалов, ограниченное количество специализированных контейнерных мощностей, а также неравномерность грузопотоков, приводящая к увеличению времени оборота подвижного состава. Эти факторы сдерживают рост скорости доставки грузов и снижают потенциальный эффект от инвестиций в развитие инфраструктуры.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую в исследовании гипотезу о том, что системная модернизация железнодорожной инфраструктуры, развитие контейнерных и мультимодальных перевозок, а также цифровизация логистических процессов являются ключевыми условиями повышения эффективности грузовых перевозок и снижения транспортных издержек. Анализ показал, что рост доли груженых контейнеров при сокращении порожнего пробега свидетельствует об улучшении баланса экспортно-импортных потоков и повышении операционной эффективности логистики АО «НК «ҚТЖ»».

Существенным результатом исследования является выявление роли контейнерных перевозок как основного драйвера развития транзитного потенциала Казахстана. Рост объёмов экспорта зерна, продукции переработки, металлов и машиностроительной продукции в контейнерах указывает на постепенный переход от сырьевой модели перевозок к более технологичной и ориентированной на добавленную стоимость логистике. Одновременно увеличение импорта промышленного оборудования, автомобилей и бытовой техники подтверждает активизацию внешнеэкономической деятельности и возрастание значимости железнодорожного транспорта в мультимодальных цепях поставок.

Полученные выводы позволяют констатировать, что развитие логистики грузовых перевозок АО «НК «ҚТЖ»» оказывает непосредственное влияние на формирование национального транспортного кластера, снижение транспортной составляющей в себестоимости продукции отечественных производителей и повышение конкурентоспособности экономики Республики Казахстан в целом. Таким образом, результаты исследования дополняют и уточняют существующие научные представления о закономерностях функционирования железнодорожной логистики в условиях международной интеграции и цифровой трансформации, расширяя научное знание в данной области.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов при разработке и корректировке стратегий развития транспортно-логистических центров, планировании инвестиций в инфраструктуру, оптимизации контейнерных перевозок и внедрении цифровых решений в управлении грузовыми потоками. Результаты исследования могут быть использованы в деятельности АО «НК «ҚТЖ»», органов государственного управления, а также в образовательном процессе при подготовке специалистов в области транспорта и логистики.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углублённым анализом эффективности мультимодальных перевозок, оценкой влияния цифровых платформ и безбумажных технологий на сокращение логистических издержек, а также разработкой экономико-математических моделей оптимизации контейнерных потоков. Актуальным направлением является также изучение механизмов импортозамещения в системе снабжения железнодорожного транспорта и оценка их влияния на устойчивость транспортно-логистической системы в условиях внешнеэкономической нестабильности.

В целом проведённое исследование подтверждает, что логистика грузовых железнодорожных перевозок АО «НК «Қазақстан темір жолы»» находится на этапе активной трансформации, а дальнейшее развитие инфраструктуры, контейнеризации и

цифровизации создаёт объективные предпосылки для укрепления транзитной роли Казахстана и повышения эффективности национальной транспортной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- АО «НК «ҚТЖ», 2019 — Годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2019 год. — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2019. — 204 с. [Russ.]
- АО «НК «ҚТЖ», 2020 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2020 год «Железная дорога: устойчивость, безопасность, ответственность». — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2020. — 293 с. [Russ.]
- АО «НК «ҚТЖ», 2021 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2021 год. — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2021. — 314 с. [Russ.]
- АО «НК «ҚТЖ», 2022 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2022 год. — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2022. — 310 с. [Russ.]
- АО «НК «ҚТЖ», 2023 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2023 год. — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2023. — 312 с. [Russ.]
- АО «НК «ҚТЖ», 2024 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2024 год «На прочных рельсах – труд и мастерство». — АО «НК «Қазақстан темір жолы». — 2024. — 349 с. [Russ.]
- Гордон, 2020 — Гордон М.П. Развитие логистики в управлении материально-техническим снабжением. — М.: ЦНИИЭИМС. — 2020. — 18 с. [Russ.]
- Иванова, 2022 — Иванова К. Железная логика логистики // Казахстанская правда. — 2022. — № 24. — С.1. [Russ.]
- Transport Corridors, 2024 — Казахстан и Китай обсудили развитие железнодорожной инфраструктуры и рост грузоперевозок [Электронный ресурс]. — Transport Corridors. — Режим доступа: <https://www.transportcorridors.com/ru/7172>. — С.1 — Дата обращения: 24.08.2024. [Russ.]
- Девятьярова, 2024 — Девятьярова Н.В. Искусственный интеллект в глобальной логистике // Вестник Евразийского Национального Университета имени Л.Н. Гумилева серия «Технические науки и технологии», Астана. — 2024. — Том 148. — № 3. — С. 34–50. [Russ.]
- Правительство РК, 2019 — Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1055 «Об утверждении Государственной программы инфраструктурного развития «Нұрлы жол» на 2020 – 2025 годы» // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». — 2019. — С. 10. [Russ.]
- Плужников, 2023 — Плужников К.И. Глобализация производства и распределения транспортных услуг // Бюллетень транспортной информации. — 2023. — № 5. — С.23. [Russ.]
- Шанайца, 2023 — Шанайца П.П. Резервы интеграции международного контейнерного рынка транспортных услуг // Железнодорожный транспорт. — 2023. — № 8. — С.61–63. [Russ.]

#### REFERENCES

- Government of the Republic of Kazakhstan, 2019 — Government of the Republic of Kazakhstan (2019). Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 31 dekabrya 2019 goda No. 1055 «Ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy infrastruktornogo razvitiya “Nurly zhol” na 2020–2025 gody» [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 31, 2019 No. 1055 “On approval of the State Program of Infrastructure Development ‘Nurly Zhol’ for 2020–2025”]. — Information and Legal System of Regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan “Adilet”. — 10 p. [in Russ.]
- Gordon, 2020 — Gordon, M.P. (2020). Razvitie logistiki v upravlenii material'no-tehnicheskim snabzheniem [Development of logistics in the management of material and technical supply]. — Moscow: TsNIITEIMS. — 18 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2019 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2019). Godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2019 god [Annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2019]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 204 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2020 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2020). Integrirovanniy godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2020 god «Zheleznaya doroga: ustoychivost', bezopasnost', otvetstvennost'» [Integrated annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2020 “Railway: sustainability, safety, responsibility”]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 293 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2021 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2021). Integrirovanniy godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2021 god [Integrated annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2021]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 314 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2022 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2022). Integrirovanniy godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2022 god [Integrated annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2022]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 310 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2023 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2023). Integrirovanniy godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2023 god [Integrated annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2023]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 312 p. [in Russ.]
- NC “KTZ” JSC, 2024 — NC “Kazakhstan Temir Zholy” JSC (2024). Integrirovanniy godovoi otchet AO “NK ‘Kazakhstan Temir Zholy’” za 2024 god «Na prochnykh rel'sakh – trud i masterstvo» [Integrated annual report of JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’” for 2024 “On strong rails – labor and craftsmanship”]. — JSC “NC ‘Kazakhstan Temir Zholy’”. — 349 p. [in Russ.]
- Shanaitsa, 2023 — Shanaitsa, P.P. (2023). Rezervy integratsii mezhdunarodnogo konteynernogo rynka transportnykh uslug [Reserves for integration of the international container transport services market] // Zheleznodorozhnyi transport. — No. 8. — Pp. 61–63. [in Russ.]
- Ivanova, 2022 — Ivanova, K. (2022). Zheleznaya logika logistiki [Iron logic of logistics] // Kazhkhstanskaya Pravda. —

No. 24. — P. 1. [in Russ.]

Transport Corridors, 2024 — Transport Corridors (2024). Kazakhstan i Kitai obsudili razvitie zheleznodorozhnoi infrastruktury i rost gruzoperevozok [Kazakhstan and China discussed the development of railway infrastructure and the growth of freight transportation] [Electronic resource]. — Transport Corridors. — Accessed: 24.08.2024. [in Russ.]

Devetyarova, 2024 — Devetyarova, N.V. (2024). Iskusstvennyi intellekt v global'noi logistike [Artificial intelligence in global logistics] // Vestnik Evraziiskogo Natsional'nogo Universiteta imeni L.N. Gumileva. Series “Technical Sciences and Technologies”. — Astana. — Vol. 148. — No. 3. — Pp. 34–50. [in Russ.]

Pluzhnikov, 2023 — Pluzhnikov, K.I. (2023). Globalizatsiya proizvodstva i raspredeleniya transportnykh uslug [Globalization of production and distribution of transport services] // Byulleten' transportnoi informatsii. — No. 5. — P. 23. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 79–94  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>  
UDC 656.2

## DETERMINATION OF THE REGULARITIES OF GROUP ARRIVALS BY ASSIGNMENT AND ESTABLISHMENT OF THEIR ARRIVAL ORDER

*Zh.Zh. Moldasheva*

Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov.

E-mail: [zhadira1985@mail.ru](mailto:zhadira1985@mail.ru)

**Moldasheva Zhadra Zholamanovna** — Information System. Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, PhD, Associate Professor of the Department of Software Engineering  
E-mail: [zhadira1985@mail.ru](mailto:zhadira1985@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Zh.Zh. Moldasheva

**Abstract.** This study addresses the patterns of wagon group arrivals on classification yard accumulation tracks and the determination of their arrival order. The relevance of the research is justified by the need to increase the efficiency of classification yards, reduce train formation time, and optimize the use of accumulation tracks. Research objective is to identify the distribution patterns of wagon group sizes and the intervals between their arrivals, and to develop methods for determining the order of wagon group arrivals on accumulation tracks. Research tasks include analyzing existing approaches and literature on train formation; collecting and processing statistical data on wagon group arrivals; verifying data for gross errors using the Smirnov criterion; determining the distribution law of group sizes and intervals; modeling the arrival order of wagon groups; and developing empirical formulas for predicting group sizes and intervals. Results indicate that wagon group sizes and intervals follow an exponential distribution. Formulas were developed to calculate the average wagon group size depending on the daily wagon flow and arrival intervals. Graphs of wagon group arrivals were constructed, and algorithms for accounting for size and interval constraints were developed. The identified patterns allow accurate prediction of wagon group arrivals and optimization of train accumulation processes. The proposed methods and models can be applied in automated dispatch and planning systems for railway freight flows.

**Keywords:** wagon group, arrival, distribution, interval, exponential law, modeling.

**For citation:** Zh.Zh. Moldasheva. Determination of the regularities of group arrivals by assignment and establishment of their arrival order//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 79–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>

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

## ТАҒАЙЫНДАЛУЫНА ҚАРАЙ ТОПТАРДЫҢ КЕЛУ ЗАҢДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ КЕЛУ РЕТІН БЕЛГІЛЕУ

*Ж.Ж. Молдашева*

Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: [zhadira1985@mail.ru](mailto:zhadira1985@mail.ru)

**Молдашева Жадра Жоламановна** — Ақпараттық жүйе. Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Бағдарламалық инженерия кафедрасының PhD қауымдастырылған профессоры



E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Ж.Ж. Молдашева

**Аннотация.** Мақалада сұрыптау станцияларының жинау жолдарындағы вагон топтарының келу заңдылықтары және олардың келу тәртібін анықтау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі — сұрыптау станцияларының тиімділігін арттыру, пойыз құрамдарын жинау уақытын қысқарту және жинау жолдарын оңтайлы пайдалану қажеттілігімен анықталады. Зерттеудің мақсаты — вагон топтарының көлемі мен келу арасындағы интервалдардың таралу заңдылықтарын анықтау, сондай-ақ вагон топтарының келу тәртібін анықтау әдістерін әзірлеу. Зерттеу міндеттері: пойыз құрамын қалыптастыру бойынша қазіргі тәсілдер мен әдебиеттерді талдау; вагон топтарының келуі бойынша статистикалық деректерді жинау және өңдеу; Смирнов критерийі бойынша деректерді қатты қателіктерге тексеру; топтардың көлемі мен интервалдарының таралу заңын анықтау; вагон топтарының келу тәртібін модельдеу; топ көлемі мен интервалдарын болжау үшін эмпирикалық формулалар әзірлеу. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, вагон топтарының көлемі мен келу интервалдары экспоненциалды заңға бағынады. Күнделікті вагон ағынына байланысты топтың орташа көлемін және келу интервалдарын есептеу үшін формулалар әзірленді. Вагон топтарының келу графиктері құрылып, топ көлемі мен интервал шектеулерін есепке алатын алгоритмдер жасалды. Анықталған заңдылықтар вагон топтарының келуін дәл болжауға және сұрыптау станцияларында пойыздарды жинау процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған әдістер мен модельдер теміржол жүктерін жоспарлау және диспетчерлік басқару жүйелерінде қолданыла алады.

**Түйін сөздер:** вагон тобы, келу, таралу, интервал, экспоненциалды заң, модельдеу.

**Дәйексөздер үшін:** Ж.Ж. Молдашева. Тағайындалуына қарай топтардың келу заңдылығын анықтау және олардың келу ретін белгілеу//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 79–94 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ГРУПП ПО НАЗНАЧЕНИЯМ И ПОЛУЧЕНИЕ ПОРЯДКА ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ

*Ж.Ж. Молдашева*

Атырауский университет имени Х. Досмухамедова. Атырау, Казахстан.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

**Молдашева Жадра Жоламановна** — Информационная система. Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, ассоциированный профессор (PhD) кафедры программной инженерии

E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>.

© Ж.Ж. Молдашева

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема закономерностей поступления групп вагонов на пути накопления сортировочных станций и определения порядка их поступления. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы сортировочных станций, сокращения времени формирования составов и оптимизации использования путей накопления. Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением, а также разработка методов определения порядка поступления групп на пути накопления. Задачи исследования включают: анализ существующих подходов и



публикаций по составообразованию; сбор и обработку статистических данных по поступлению групп вагонов; проверку данных на грубые погрешности с использованием критерия Смирнова; определение закона распределения величины групп и интервалов между ними; моделирование порядка поступления групп вагонов; разработку эмпирических формул для прогнозирования величины групп и интервалов. Результаты исследования показывают, что величины групп вагонов и интервалы между ними подчиняются показательному закону распределения. Разработаны формулы для расчета средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока и интервалов между поступлениями. Построены графики поступления групп вагонов на пути накопления и алгоритмы учета ограничений по величине групп и интервалам. Выявленные закономерности позволяют с высокой точностью прогнозировать поступление групп вагонов и оптимизировать процессы накопления составов на сортировочных станциях. Предложенные методы и модели могут быть использованы в автоматизированных системах диспетчерского управления и планирования работы железнодорожных грузопотоков.

**Ключевые слова:** группа вагонов, поступление, распределение, интервал, показательный закон, моделирование.

**Для цитирования:** Ж.Ж. Молдашева. Определение закономерности поступления групп по назначениям и получение порядка их поступления//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 79–94. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.006>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Современные процессы обработки грузовых потоков на железнодорожном транспорте характеризуются высокой динамичностью и сложностью. Эффективное управление накоплением и распределением составов на сортировочных станциях требует точного понимания закономерностей поступления групп вагонов по назначениям. Несмотря на многолетние исследования в области составообразования, до сих пор сохраняется необходимость более точного моделирования процесса поступления групп вагонов, учитывающего как их величину, так и интервалы между поступлениями.

Обоснование выбора темы исследования связано с анализом предыдущих работ в данной области. Так, А.И. Платонов (1955) впервые отметил зависимость частоты поступления групп вагонов от их размера, установив, что меньшие группы прибывают чаще. Дальнейшие исследования Е.А. Сотникова (1968, 1979) и Н.М. Иванкова (1966) подтвердили эти закономерности и выявили связь частоты поступления групп с мощностью назначения. В.И. Бадах (1967) и А.В. Панасик (1969) показали, что распределение величины групп вагонов можно аппроксимировать показательным законом, а многие последующие исследователи (Жуков, 2000) подтвердили этот вывод. Однако существующие исследования не охватывают комплексное моделирование поступления групп вагонов на современном железнодорожном транспорте с учетом статистических проверок данных и формирования гибких графиков накопления.

Актуальность темы определяется практической необходимостью повышения эффективности сортировочных станций и сокращения времени формирования составов. Современные логистические и транспортные задачи требуют точного прогнозирования поступления групп вагонов, что влияет на планирование работы сортировочных парков, оптимизацию использования путей накопления и снижение простоев поездов.

Объектом исследования является процесс поступления групп вагонов на пути накопления сортировочных станций. Предметом исследования выступают закономерности распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением.

Цель исследования — определить закономерности поступления групп вагонов по назначениям и получить порядок их поступления для последующего моделирования процессов накопления на сортировочных станциях.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Провести анализ существующих исследований и выявить недостатки в современных подходах к моделированию поступления групп вагонов.
- Определить числовые характеристики статистического распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением.
- Проверить согласованность фактического распределения величины групп вагонов с теоретическим показательным распределением с использованием критерия Романовского и критерия Смирнова.
- Разработать методы моделирования порядка поступления групп вагонов с учетом эмпирических зависимостей и ограничений по величине групп и интервалам.
- Предложить эмпирические формулы для определения средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока и интервалов между группами.

Методы исследования включают математическую статистику, обработку вариационных рядов, проверку гипотез о грубых погрешностях, аппроксимацию распределений показательными законами и моделирование поступления групп вагонов с использованием специализированных программных средств (Excel, Statistica for Windows, MINITAB).

Подходы исследования основаны на комбинировании эмпирических данных и теоретических моделей распределений для построения правдоподобного графика поступления групп вагонов на сортировочные станции.

Гипотеза исследования заключается в том, что величины групп вагонов и интервалы их поступления подчиняются показательному закону распределения, что позволяет прогнозировать порядок их поступления с достаточной точностью для целей моделирования процессов накопления составов.

Практическая значимость исследования определяется возможностью применения полученных закономерностей для оптимизации работы сортировочных станций, снижения времени накопления составов и повышения общей эффективности железнодорожной логистики. Теоретическая значимость заключается в подтверждении и уточнении ранее выявленных закономерностей поступления групп вагонов с использованием современных методов статистической обработки данных и моделирования.

#### **Материалы и методы**

Материалом исследования являются статистические данные о поступлении групп вагонов на пути накопления сортировочных станций Казахстана, собранные в течение 14–31 суток для разных направлений и назначений. Данные представлены в количественном виде: количество вагонов в группе ( $m_{гр}$ ), число наблюдений за поступлениями ( $n$ ), суточный вагонопоток ( $U_{сут}$ ), интервалы времени между поступлением групп ( $I_i$ ). В качественном отношении материал характеризуется разнообразием назначения вагонов, неравномерностью их поступления и колебаниями величины групп в зависимости от мощности назначения.

В качестве источников использованы:

- Архивные данные АО «НК «Қазақстан Темір Жолы» по движениям вагонов на сортировочных станциях Алматы 1 и Алматы 2.
- Публикации и диссертации по вопросам составообразования и распределения групп вагонов (Платонов, 1955; Иванков, 1966; Бадах, 1967; Панасик, 1969; Жуков, 2000).
- Методические материалы по статистической обработке данных и проверке гипотез (Кудрявцев, 1977; Третьяк, 2004).

Новизна материала исследования заключается в использовании статистических данных по современным потокам вагонов с учётом показательных распределений величины

---

групп и интервалов между ними, а также в применении метода исключения грубых погрешностей по критерию Смирнова для уточнения эмпирических закономерностей.

В ходе исследования ставились следующие вопросы:

- Каковы закономерности распределения величины групп вагонов по назначениям и их частота поступления?

- Подчиняются ли интервалы времени между смежными группами вагонов показательному закону распределения?

- Как можно определить порядок поступления групп вагонов на пути накопления для моделирования процессов составообразования?

Гипотеза исследования заключается в том, что величины групп вагонов и интервалы их поступления подчиняются показательному закону распределения, что позволяет с высокой точностью прогнозировать порядок поступления групп и строить реалистичные графики накопления составов на сортировочных станциях.

Исследование проводилось в несколько этапов:

- Сбор и систематизация статистических данных по поступлению групп вагонов на пути накопления.

- Проведение первичной статистической обработки данных: определение средних величин групп, дисперсий и среднеквадратических отклонений.

- Проверка данных на наличие грубых погрешностей с использованием критерия Смирнова и исключение аномальных значений.

- Определение закона распределения величины групп и интервалов между их поступлением с применением методики аппроксимации показательным распределением.

- Разработка моделей и формул для прогнозирования порядка поступления групп вагонов на основе случайных чисел и эмпирических зависимостей.

Построение графиков поступления групп вагонов и анализ закономерностей составообразования при гибком и твердом графике накопления.

Для достижения целей исследования использовались следующие методы:

- Математическая статистика: анализ вариационных рядов, расчет средних величин, дисперсий, стандартных отклонений.

- Методы проверки гипотез: критерий Смирнова для выявления грубых погрешностей; критерий Романовского для проверки согласованности фактического и теоретического распределений.

- Аппроксимация распределений: показательное распределение для величины групп вагонов и интервалов между группами.

- Эмпирическое моделирование: генерация случайных чисел в Excel для определения порядка поступления групп и интервалов между ними, суммирование значений до получения нормированных составов.

- Анализ эмпирических зависимостей: построение зависимости средней величины группы от суточного вагонопотока, расчет коэффициента детерминации для оценки точности модели.

Применение комплексного подхода, включающего статистическую обработку данных, проверку гипотез и моделирование процессов, позволяет достоверно выявлять закономерности поступления групп вагонов и эффективно прогнозировать их распределение на сортировочных станциях.

### **Результаты и обсуждение**

Впервые изучение закономерности колебания величины групп вагонов выполнено сравнительно давно в работе А.И. Платонова (Платонов, 1955: 79–109). В результате исследования поступления групп вагонов на четыре назначения в течение пяти дней, им было установлено, что чем меньше число вагонов в группе, тем чаще их прибытие. Далее изучение колеблемости величины групп вагонов выполнено Е.А. Сотниковым. Проведенное им исследование подтвердило наличие указанной закономерности. Кроме

того, им установлено, что чем меньше мощность назначения, тем чаще встречаются мелкие группы. Исследование выполнялось для целей моделирования процесса накопления составов поездов в сортировочном парке.

Исследование колеблемости величин групп вагонов для выявления заполнения путей накопления производилось Н.М. Иванковым (Иванков, 1966: 73–81). Обработка статистических данных позволила ему подтвердить существование ранее установленных закономерностей и наличие зависимости частоты поступления различных по величине групп от мощности назначений. Указанные закономерности представлены в виде таблиц и графиков.

В.И. Бадах установил, что распределение величины групп вагонов, поступающих на отдельное назначение, можно аппроксимировать согласно показательному закону (Бадах, 1967: 31–87).

А.В. Панасик, анализируя поступление вагонов отдельных назначений на четырех крупнейших сортировочных станциях, установил, что частота колебания величины групп вагонов может быть аппроксимирована показательным распределением (Панасик, 1969: 1–22). В результате его исследования установлено, что зависимости среднеквадратического отклонения колеблемости величины групп вагонов и параметра закона распределения от размера вагонопотока назначения может быть выражена степенной функцией. Далее многие ученые подтвердили, что частота колебания величины групп вагонов может быть аппроксимирована показательным распределением (Жуков, 2000: 141–147).

В статье для определения закона распределения величины групп вагонов используется метод математической статистики (Швечиков, 1997: 12–15). В результате обработки статистических данных установлено, что распределение величины групп вагонов подчиняется показательному закону распределения. Статистическая проверка согласованности теоретического показательного и фактического распределений произведена по критерию Романовского (Кудрявцев, 1977: 1–55) и дала положительные результаты. На Рис. 1. частота поступления величины групп вагонов показана в виде гистограммы, а сплошной линией – теоретическая кривая распределения. Из рисунка видно, что теоретическое и статистическое распределения близки.

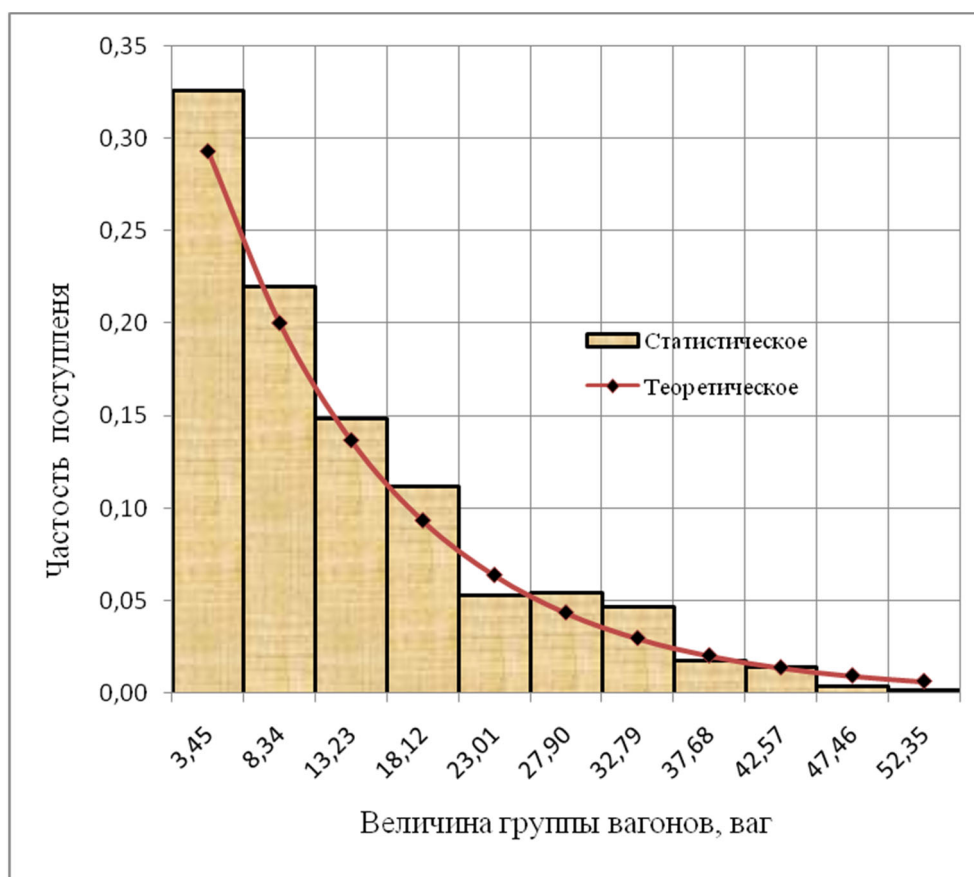


Рис. 1. Распределение величины групп вагонов при  $U_{\text{сут}}=440$  ваг,  $m_{\text{гр}}=12,04$  ваг.

При показательном законе распределения функция распределения для величины прибывающей группы  $m_i$  примет следующий вид:

$$F(m_i) = 1 - e^{-\frac{m_i}{m_{\text{гр}}}} \quad (1)$$

где  $m_{\text{гр}}$  – средняя величина группы данного назначения, ваг (значения  $m_{\text{гр}}$  определены по статистическим данным для каждого назначения).

В процессе моделирования текущее значение величин групп, поступающих на назначение, определяется по формуле:

$$m_i = m_{\text{гр}} \ln z_i \quad (2)$$

где  $z_i$  – случайное число из совокупности случайных чисел, равномерно распределенных в интервале  $0 \leq z_i \leq 1$ .

В (Сотников, 1968: 27–29) формула (2) реализуется при ограничении  $0 \leq m_{\text{гр}} \leq 60$ , а в (Сотников, 1979: 7–116) –  $0 \leq m_{\text{гр}} \leq 30$ . Поскольку верхняя граница ограничения  $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$  зависит от средней величины групп, то эту границу надо реализовать по-разному для соответствующих величин групп (а не строго давать для всех назначений). Поскольку на путь накопления может поступить минимум один вагон, то нижнюю

границу ограничиваем как один вагон. Для определения  $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$  для каждого назначения использован критерий проверки подозрительных (с точки зрения погрешностей)

результатов наблюдений Смирнова (Третьяк, 2004: 10–171). Согласно этому критерию, для установления принадлежности «подозрительного» результата данной группе измерений служит граница, отнесенная от центра распределения на величину  $t \cdot S$ , т. е. отсутствие принадлежности имеет место при выполнении условия:

$$|x_{\text{под}} - X_{\text{ц. р.}}| \geq t \cdot S, \quad (3)$$

где  $x_{\text{под}}$  – результат наблюдения, проверяемый на наличие грубой погрешности (в нашем случае  $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$ );

$X_{\text{ц. р.}}$  – статистическое среднее, вычисленное по всем значениям выборки (в нашем случае  $m_{\text{гр}}$ );

$S$  – статистическое среднеквадратическое отклонение (СКО), вычисленное по всем значениям выборки (в нашем случае среднеквадратическое отклонение средней величины группы  $\sigma_{\text{гр}}$ );

$t$  – коэффициент, зависящий от вида и закона распределения, объема выборки, уровня значимости.

Критерий Смирнова используется при объемах выборки  $n \geq 25$  или при известных значениях генеральных среднего и СКО. Таким образом, границы погрешности зависят от вида распределения, объема выборки и выбранной доверительной вероятности. Для реализации этого критерия вычисляются действительные значения квантилей распределения (наблюдаемое значение критерия) по формуле:

$$\beta = \frac{\max |m_{\text{гр}}^{\text{max}} - m_{\text{гр}}|}{\sigma_{\text{гр}}} \quad (4)$$

Найденное значение сравнивается с критериальным  $\beta_k$ , приведенным в таблице 3.6 в (Третьяк, 2004: 10–171). В случае  $\beta_k > \beta_k$ , величина данной группы не является грубой погрешностью и не исключается из выборки.

Рассмотрим пример применения критерия Смирнова для исключения большей величины группы при определении закона их распределения. В таблице 2.1 приведен вариационный ряд распределения числа вагонов, поступивших на одно из назначений плана формирования сортировочной станции Алматы 1 за 14 суток. Число наблюдений  $n$  за это время составило 521.

Определение числовых характеристик статистического распределения ( $m_{\text{гр}}$ ,  $m_{\text{гр}}^{\text{max}}$  и  $\sigma_{\text{гр}}$ ) производилось с помощью пакета программ по статистической обработке данных Statistica for Windows и MINITAB, и результаты зафиксированы в таблице 2.2. Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения 53 ваг. грубую погрешность ( $m_{\text{гр}}^{\text{max}} = 53$  ваг). По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|53 - 12,04|}{10,86} = 3,77$$

Таблица 1. Вариационный ряд поступления величин групп вагонов на путь назначения

Величина группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	-
Всего наблюдений	66	37	29	24	32	23	16	25	21	23	21	11	328
Величина группы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	-
Всего наблюдений	16	14	11	13	6	13	8	15	9	3	3	7	118
Величина группы	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	-
Всего наблюдений	4	6	3	7	5	6	8	2	8	5	1	2	57
Величина группы	38	39	40	41	42	44	45	47	49	50	52	53	-
Всего наблюдений	3	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	18
Всего													521

Таблица 2. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности  $m_{гр}^{max} = 53$  ваг.

n	$m_{гр}$	$m_{гр}^{max}$	σгр
521	12,04	53,00	10,86

Из таблицы 3.6 в (Третьяк, 2004: 10–171) для уровня значимости  $q=0,05$  и объема выборки  $n=521$  находим  $\beta_k = 3,703$ . Так как не соблюдается условие  $\beta_k > \beta$ , то можно сделать вывод, что результат  $m_{гр}^{max} = 53$  ваг содержит грубую погрешность и должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений.

Определяем числовые характеристики статистического распределения повторно с исключением  $m_{гр}^{max} = 53$  ваг и записываем в таблице 3.

Таблица 3. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности  $m_{гр}^{max} = 52$  ваг.

n	$m_{гр}$	$m_{гр}^{max}$	σгр
520	11,96	52,00	10,72

Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения  $m_{гр}^{max} = 52$  ваг грубую погрешность. По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|52 - 11,96|}{10,72} = 3,74$$

Также сравниваем с  $\beta_k=3,703$ . Так как не соблюдается условие  $\beta_k > \beta$ , то можно сделать вывод, что результат  $m_{зр}^{max} = 52$  ваг содержит грубую погрешность, и должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений.

Определяем числовые характеристики статистического распределения повторно с исключением  $m_{зр}^{max} = 52$  ваг и записываем в таблицу 4.

Таблица 4. Числовые характеристики статистического распределения для проверки погрешности  $m_{зр}^{max} = 50$  ваг.

n	$m_{зр}$	$m_{зр}^{max}$	σгр
519	11,88	50,00	10,59

Требуется определить, не содержит ли результат наблюдения  $m_{зр}^{max} = 50$  ваг грубую погрешность. По формуле (2.4) определяем:

$$\beta = \frac{|50 - 11,88|}{10,59} = 3,60$$

Также сравниваем с  $\beta_k=3,703$ . Так как соблюдается условие  $\beta_k > \beta$ , то можно сделать вывод, что результат  $m_{зр}^{max} = 50$  ваг не содержит грубую погрешность, и не должен быть исключен при дальнейшей обработке результатов наблюдений. Следовательно, для данного назначения формула (2.2) реализована при ограничении  $1 \leq m_{гр} \leq 50$ .

В таблице 5 приведены значения  $m_{зр}^{max}$ , подсчитанные аналогичным образом и для других назначений при  $m_{гр}=4-15$  ваг при различных значениях суточных вагонопотоков.

Таблица 5. Результаты определение погрешности  $m_{зр}^{max}$  ваг.

mгр	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$m_{зр}^{max}$	30-35	32-38	35-43	40-45	40-46	42-48	44-52	47-54	49-55	50-55	52-56	54-60

Таким образом, в диссертации формула (2) реализована при ограничении  $1 \leq m_{гр} \leq m_{зр}^{max}$ . Подставляя в (2) величину  $m_{гр}$ , а  $z_i$  - из специальной стандартной программы Excel, определен порядок поступления групп  $m_i$  на назначение. В результате для определения средней величины группы вагонов, поступающих на путь накопления в зависимости суточного вагонопотока, предлагается следующая эмпирическая формула:

$$m_{гр} = 0,02U_{сут} + 4,03, \text{ ваг} \tag{5}$$

Эта зависимость получена с помощью статистической обработки данных и подтверждает результаты, полученные В.М. Акулиничевым в работе (Кудрявцев, 2002: 86–96). Ранжирование по тесноте связи полученных данных показало высокую точность сходимости, характеризующуюся коэффициентом детерминации  $R^2=0,902$  (Рис. 2).



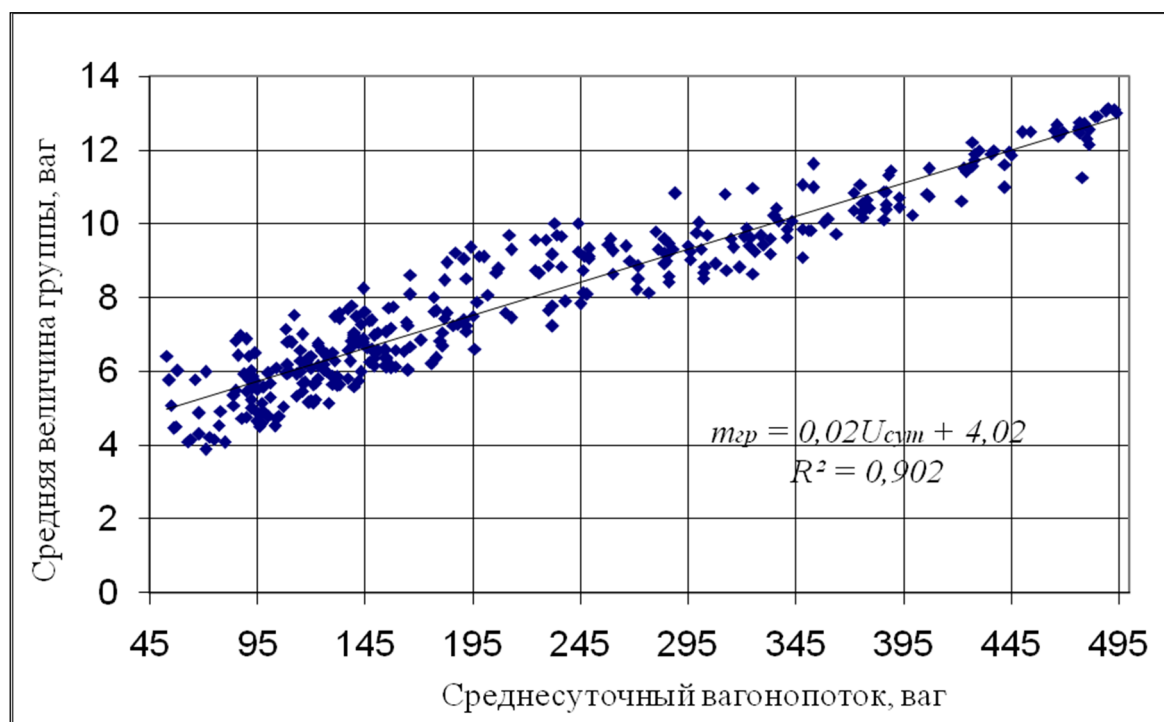


Рис. 2. Зависимость средней величины группы вагонов, поступающих на путь накопления от размера среднесуточного вагонопотока

Поскольку для каждого назначения плана формирования группы вагонов поступают неравномерно как по времени, так и по количеству вагонов в группе, то для моделирования моментов поступления групп вагонов необходимо определить закон распределения интервалов времени между поступлением смежных групп.

В (Быкадоров, 1995: 10–168) показан пример правдоподобности показательного распределения интервалов между поступающими на грузовой двор группами вагонов. Для определения этих закономерностей используется теория восстановления. В исследовании А.В. Панасик (Панасик, 1969: 1–22) с использованием математической статистики установил, что закон распределения интервалов между смежными группами можно рассматривать как распределение величины групп вагонов.

В статье для определения закона распределения интервалов времени между смежными группами вагонов используется метод математической статистики (Кудрявцев, 1977: 1–55). Установлено, что распределение интервалов времени между смежными группами вагонов подчиняется показательному закону распределения. Статистическая проверка согласованности теоретического показательного и фактического распределений произведена по критерию Романовского (Кудрявцев, 1977: 1–55) и в большинстве случаев дала положительные результаты. На рисунках 3–4 частота статистической величины интервалов времени между смежными группами вагонов показана в виде гистограммы, а сплошной линией – теоретическая кривая распределения. Из рисунков видно, что теоретическое и статистическое распределения близки.

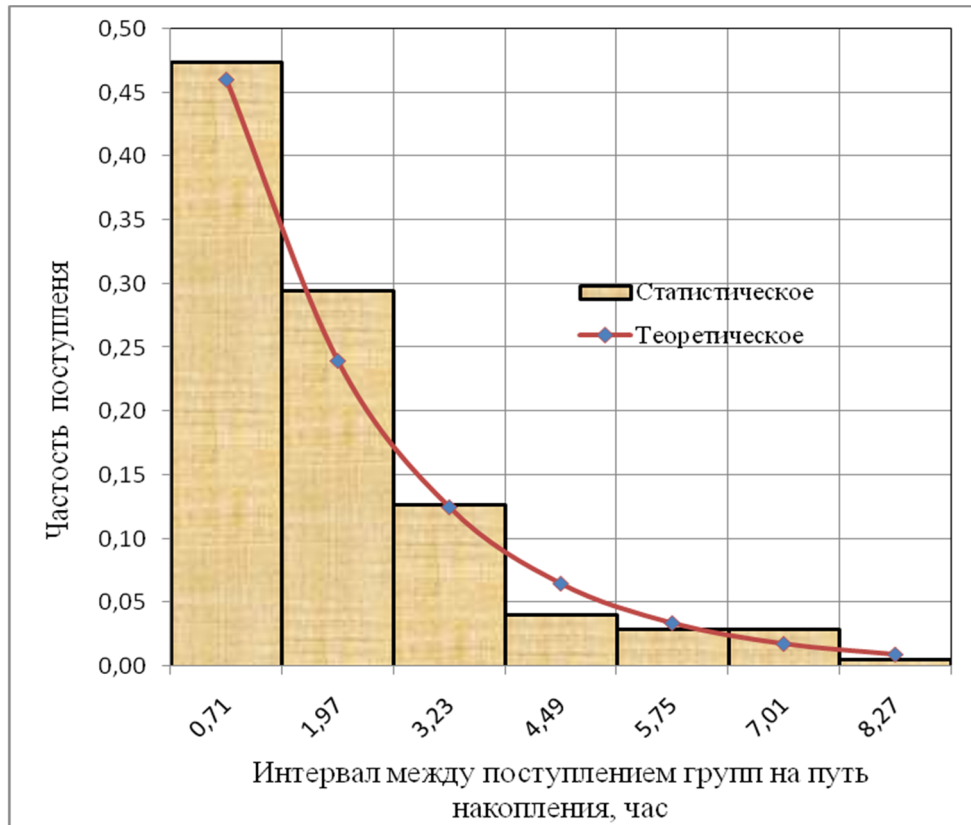


Рис. 3. Распределение величины интервалов времени между смежными группами вагонов при  $U_{сут}=87$  ваг,  $m_{гр}=6,96$  ваг и  $t_{ср}=1,92$  час.

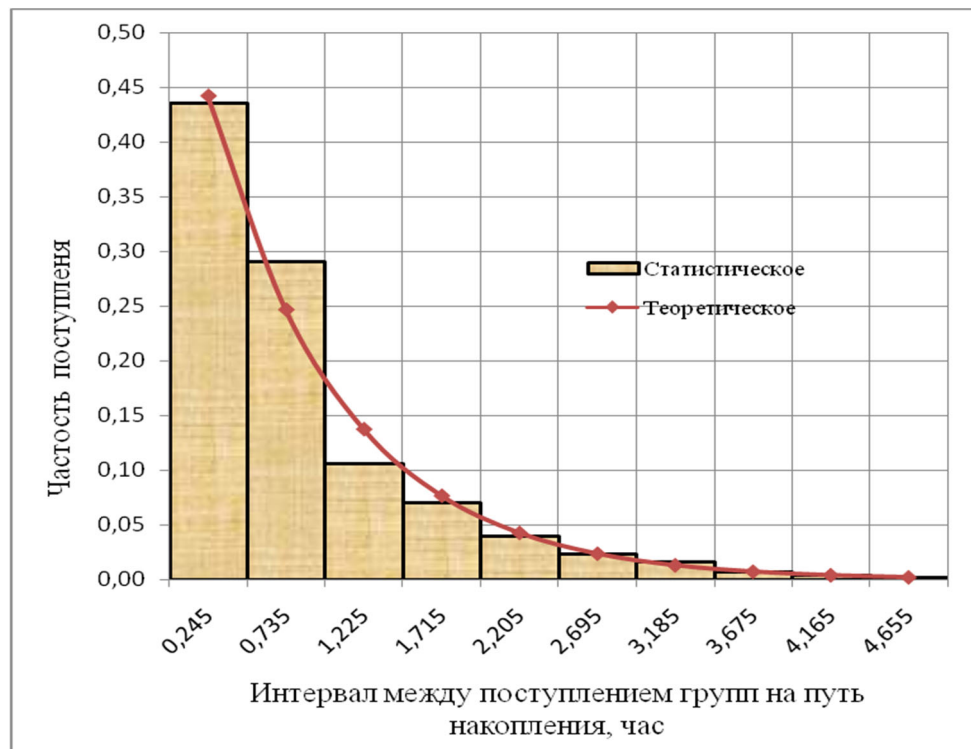


Рис. 4. Распределение величины интервалов времени между смежными группами вагонов  $U_{сут}=383$  ваг,  $m_{гр}=12,75$  ваг и  $t_{ср}=0,80$  час.

При показательном законе текущая величина интервала определяется по формуле (Сотников, 1968: 27–29):

$$I_i = I_{cp} |\ln z_i| \quad (6)$$

где  $I_{cp}$  – средний интервал между группами, час (значение  $I_{cp}$  определен по статистическим данным для каждого назначения).

В диссертации формула (2.6) реализуется при ограничении  $0,2I_{cp} \leq I_i \leq 3I_{cp}$ . Моделирование интервалов между поступлением групп вагонов на сортировочную станцию в течение 17 суток и на их основе разработку графика поступления групп вагонов на путь назначения производим следующим образом.

Прибытие первой группы на назначение принимаем - в 00:00.

Из таблицы случайных чисел произвольно выберем число, затем возьмём натуральный логарифм произведения и умножим на величину  $I_{cp}$  для данного назначения. Полученный результат преобразуем в минуты и прибавляем к предыдущему времени прибытия группы. Например, для  $I_{cp}=0,61$  час:

$$I_1 = 0,61 / \ln 0,7956 = 0,38 \text{ час} = 23 \text{ мин.}$$

Вторая группа поступает в 00:23.

$$I_2 = 0,61 / \ln 0,8643 = 0,24 \text{ час} = 14 \text{ мин.}$$

Третья группа поступит на сортировочную станцию в 00:37 и т. д. до конца расчётных 17 суток. Все расчеты сделаны с помощью специальных стандартных программ Excel.

В полученный таким образом график поступления групп на путь назначения ставим соответствующую величину групп вагонов (полученную из формулы (2)) и получаем поступление вагонов на назначение за 31 сутки непрерывно.

При гибком графике состав считается накопленным, если его вес или длина соответствует норме. Поэтому для моделирования процесса накопления значения  $m_i$ , полученные из формулы (2), суммируются до тех пор, пока не будет выполнено условие  $\sum m_i \geq m_{om}$ , т.е. до получения значения нормы отправляемого состава. Затем суммируются соответствующие значения  $\sum I_i$ , полученные из формулы (6), в результате чего получают величину периода накопления  $i$ -го поезда. Повторяют данный цикл много раз и записывают значения  $T_i$  для установления закономерностей составаобразования в сортировочных парках.

Поскольку в твердом графике накопление составов завершается в зависимости от расписания отправления поездов, то для моделирования процесса накопления значения  $m_i$ , полученные из формулы (2), суммируются до времени прибытия последней группы соответствующих ниток. Поэтому при твердом графике для установления закономерностей составаобразования требуется исследовать величину поступления вагонов на расчетные периоды (между нитками графика).

### Заключение

В данной диссертационной работе проведено комплексное исследование закономерностей поступления групп вагонов по назначениям и определение порядка их поступления на пути накопления сортировочных станций. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности работы сортировочных станций, сокращения времени формирования составов и оптимизации использования путей

накопления, что имеет большое практическое значение для железнодорожной логистики и управления грузопотоками.

Реализация целей и методов исследования. Цель исследования — выявление закономерностей распределения величины групп вагонов и интервалов между их поступлением, а также разработка методов прогнозирования порядка поступления групп на пути накопления — была достигнута посредством комплексного применения современных методов математической статистики, проверки гипотез, моделирования и анализа эмпирических данных. Для обработки статистических данных использовались вариационные ряды, расчет средних величин, дисперсий и среднеквадратических отклонений. Проверка данных на наличие грубых погрешностей проводилась с использованием критерия Смирнова, что позволило исключить аномальные значения и обеспечить точность расчетов. Для определения законов распределения величины групп и интервалов между ними применялся показательный закон распределения, аппроксимированный с учетом статистических наблюдений. Моделирование порядка поступления групп вагонов осуществлялось с использованием случайных чисел и эмпирических зависимостей средней величины группы от суточного вагонопотока, что позволило построить реалистичные графики поступления вагонов на пути накопления.

Установлено, что величины групп вагонов и интервалы времени между смежными группами подчиняются показательному закону распределения. Это подтверждает гипотезу о предсказуемости поступления вагонов на основе статистических закономерностей.

Разработаны эмпирические формулы для расчета средней величины группы вагонов в зависимости от суточного вагонопотока, а также формулы для определения интервалов между поступающими группами.

Построены графики поступления групп вагонов на пути накопления на период до 31 суток, что позволило визуализировать закономерности составаобразования и динамику поступления вагонов.

Разработан алгоритм учета ограничений по величине групп и интервалам между ними, что обеспечивает реалистичность моделирования процессов накопления составов.

Проведена проверка статистических данных на наличие грубых погрешностей с применением критерия Смирнова, что повысило достоверность результатов исследования и исключило аномальные значения из дальнейшей обработки.

Цель исследования подтверждена: выявлены закономерности поступления групп вагонов по назначениям и разработаны методы определения их порядка поступления на пути накопления.

Полученные результаты позволяют прогнозировать поступление групп вагонов с высокой точностью, что является важным условием оптимизации работы сортировочных станций.

Разработанные формулы и алгоритмы могут использоваться для моделирования процессов составаобразования, планирования работы путей накопления и автоматизации диспетчерского управления.

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации работы сортировочных станций, планирования графиков накопления составов и повышения эффективности управления вагонопотоками.

Разработанные методики прогнозирования поступления групп вагонов позволяют сократить время формирования составов и уменьшить простой вагонов на путях накопления.

Модели и алгоритмы, предложенные в работе, могут быть интегрированы в автоматизированные системы диспетчерского управления железнодорожным движением, что открывает перспективы дальнейшего совершенствования железнодорожной логистики.

Перспективой дальнейших исследований является расширение моделей с учетом сезонных колебаний вагонопотоков, изменения структуры грузов, внедрение адаптивного моделирования в реальном времени и использование искусственного интеллекта для прогнозирования и оптимизации потоков вагонов.

Проведенное исследование подтверждает выдвинутый автором тезис о подчинении величин групп вагонов и интервалов между их поступлением показательному закону распределения. Выявленные закономерности, разработанные методы и эмпирические формулы вносят вклад в развитие научного знания в области железнодорожного составообразования и управления грузопотоками, а также имеют прямое практическое применение для оптимизации работы сортировочных станций и повышения эффективности перевозочного процесса.

Таким образом, проведенная работа не только подтверждает теоретическую значимость показательных закономерностей распределения вагонов, но и обеспечивает возможность их внедрения в практику планирования и управления железнодорожными грузопотоками, открывая перспективы для дальнейших исследований и совершенствования систем логистики на железной дороге.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бадах, 1967 — Бадах В.И. Специализация сортировочных путей на горочных станциях большой мощности. Дисс. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛИИЖТ — 1967. — 249 с. [Russ.]
- Быкадоров, 1995 — Быкадоров А.В., Пешков А.М. Применение математических методов в управлении процессами перевозок: Учебное пособие. — СГАПС. — 1995. — 68 с. [Russ.]
- Быкадоров, 1995 — Быкадоров А.В., Пешков А.М. Применение математических методов в управлении процессами перевозок: Учебное пособие. — СГАПС. — 1995. — 68 с. [Russ.]
- Иванков, 1966 — Иванков Н.М. К вопросу о влиянии структура перерабатываемого вагонопотока на использование сортировочных путей // Труды ДИИТ. — 1966. — Вып. 61. — С. 73–81 [Russ.]
- Жуков, 2000 — Жуков В.И., Уланов А.А. Анализ простоя местных вагонов в процессе накопления // Сб. науч. трудов «Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог». — Новосибирск: СГУПС. — 2000. — С. 141–147. [Russ.]
- Кудрявцев, 1977 — Применение математических методов в эксплуатационных расчетах на железнодорожном транспорте. Методические указания. Часть II. // Под общей ред. В.А.Кудрявцева. — Ленинград. — 1977. — 55 с. [Russ.]
- Кудрявцев, 2002 — Кудрявцев В.А., Волчанинов В.А., Бураченко В.Н. Условия применения твердого графика движения поездов / Сб. науч. трудов РАТ «Актуальные проблемы транспорта». — Спб. — 2002. — Том 3. — С. 86–96. [Russ.]
- Кудрявцев, 1977 — Применение математических методов в эксплуатационных расчетах на железнодорожном транспорте. Методические указания. Часть II. / Под общей ред. В.А.Кудрявцева. — Ленинград. — 1977. — 55 с. [Russ.]
- Лебедева, 1963 — Лебедева Т.П., Страковский И.И., Тишков Л.Б. и др. Основные требования к техническому оснащению сортировочных станций // Труды ВНИИЖТ — 1963. — Вып. 270. — 220 с. [Russ.]
- Платонов, 1955 — Платонов А.И. Взаимодействие процессов на сортировочных станциях (теория, практика и расчеты). — М.: Трансжелдориздат — 1955. — 224 с. [Russ.]
- Панасик, 1969 — Панасик А.В. Исследование неравномерности поступления вагонопотока на сортировочную станцию и влияние этого фактора на накопление и простой составов передаточных поездов: Автореф. ... канд. техн. наук. — Л.: ЛИИЖТ. — 1969. — 22 с. [Russ.]
- Третьяк, 2004 — Третьяк Л.Н. Обработка результатов наблюдений. Учебное пособие. — Оренбург: ГОУ ОГУ. — 2004. — 171 с. [Russ.]
- Сотников, 1968 — Сотников Е.А. Закономерности составообразования на сортировочных станциях / Вестник ВНИИЖТ. — 1968. — №6. — С. 27–29. [Russ.]
- Сотников, 1979 — Сотников Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций. — М.: Транспорт. — 1979. — 239 с. [Russ.]
- Хованский, 1967 — Хованский Н.И. Сокращение времени накопления вагонов на станцию // Железнодорожный транспорт. — 1967. — №4. — С. 48–50. [Russ.]
- Швечиков, 1997 — Швечиков И.П., Истомин И.С., Бородин А.Ф. Твердый график в грузовом движении // Железнодорожный транспорт. — 1997. — № 1. — С. 12–15. [Russ.]

#### REFERENCES

- Badakh, 1967 — Badakh, V.I. (1967). Spetsializatsiya sortirovochnykh putei na gorochnykh stantsiiakh bol'shoi moshchnosti [Specialization of marshalling tracks at high-capacity hump yards]. — Diss. ... kand. tekhn. nauk. — L.: LIIZhT. — 1967. — 249 p. [in Russ.]
- Bykadorov, 1995 — Bykadorov, A.V., Peshkov, A.M. (1995). Primenenie matematicheskikh metodov v upravlenii protsessami perevozok [Application of mathematical methods in transportation management]. — SGAPS. — 1995. — 68 p. [in Russ.]

Ivankov, 1966 — Ivankov, N.M. (1966). K voprosu o vliianii struktury pererabatyvaemogo vagonopotoka na ispol'zovanie sortirovochnykh putei [On the influence of the structure of the handled wagon flow on the use of marshalling tracks] // Trudy DIIT. — 1966. — Issue 61. — Pp. 73–81 [in Russ.]

Khovanskii, 1967 — Khovanskii, N.I. (1967). Sokraschenie vremeni nakopleniia vagonov na stantsiiu [Reducing wagon accumulation time at the station] // Zheleznodorozhnyi transport. — 1967. — No. 4. — Pp. 48–50 [in Russ.]

Kudriavtsev, 1977 — Kudriavtsev, V.A. (1977). Primenenie matematicheskikh metodov v ekspluatatsionnykh raschetakh na zheleznoi doroge. Metodicheskie ukazaniya. Chast' II [Application of mathematical methods in operational calculations on railways. Methodical guidelines. Part II]. — Leningrad. — 1977. — 55 p. [in Russ.]

Kudriavtsev, 2002 — Kudriavtsev, V.A., Volchaninov, V.A., Burachenko, V.N. (2002). Usloviia primeneniia tverdogo grafika dvizheniia poezdov [Conditions for applying a fixed train schedule] // Sb. nauch. trudov RAT “Aktual'nye problemy transporta”. — SPb. — 2002. — Vol. 3. — Pp. 86–96 [in Russ.]

Lebedeva, 1963 — Lebedeva, T.P., Strakovskii, I.I., Tishkov, L.B. (1963). Osnovnye trebovaniia k tekhnicheskomu osnashcheniiu sortirovochnykh stantsii [Main requirements for technical equipment of marshalling yards] // Trudy VNIIZhT. — 1963. — Issue 270. — 220 p. [in Russ.]

Platonov, 1955 — Platonov, A.I. (1955). Vzaimodeistvie protsessov na sortirovochnykh stantsiiakh (teoriya, praktika i raschety) [Interaction of processes at marshalling yards (theory, practice, and calculations)]. — M.: Transzheldorizdat. — 1955. — 224 p. [in Russ.]

Panasik, 1969 — Panasik, A.V. (1969). Issledovanie ne ravnomernosti postupleniia vagonopotoka na sortirovochnuiu stantsiiu i vliianie etogo faktora na nakoplenie i prostoi sostavov peredatochnykh poezdov [Study of the irregularity of wagon flow arrival at a marshalling yard and its influence on accumulation and idle time of transfer trains]. — Avtoref. ... kand. tekhn. nauk. — L.: LIIZhT. — 1969. — 22 p. [in Russ.]

Tret'iak, 2004 — Tret'iak, L.N. (2004). Obrabotka rezul'tatov nablyudenii [Processing observation results]. — Orenburg: GOU OGU. — 2004. — 171 p. [in Russ.]

Shvechikov, 1997 — Shvechikov, I.P., Istomin, I.S., Borodin, A.F. (1997). Tverdyi grafik v gruzovom dvizhenii [Fixed schedule in freight traffic] // Zheleznodorozhnyi transport. — 1997. — No. 1. — Pp. 12–15 [in Russ.]

Sotnikov, 1968 — Sotnikov, E.A. (1968). Zakonomernosti sostavooobrazovaniia na sortirovochnykh stantsiiakh [Patterns of train formation at marshalling yards] // Vestnik VNIIZhT. — 1968. — No. 6. — Pp. 27–29 [in Russ.]

Sotnikov, 1979 — Sotnikov, E.A. Intensifikatsiia raboty sortirovochnykh stantsii [Intensification of marshalling yard operations]. — M.: Transport. — 1979. — 239 p. [in Russ.]

Zhukov, 2000 — Zhukov, V.I., Ulanov, A.A. (2000). Analiz prostoya mestnykh vagonov v protsesse nakopleniia [Analysis of idle time of local wagons during accumulation] // Sb. nauch. trudov “Sovershenstvovanie ekspluatatsionnoi raboty zheleznykh dorog”. — Novosibirsk: SGUPS. — 2000. — Pp. 141–147 [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 95–109  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.007>  
UDC 656.2

## INTELLECTUALIZATION OF MANAGERIAL DECISION SUPPORT IN EMERGENCY SITUATIONS IN RAILWAY TRANSPORTATION

*R.N. Moldasheva*

Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, Kazakhstan.

E-mail: [raushan85\\_07@mail.ru](mailto:raushan85_07@mail.ru)

**Moldasheva Raushan Nurkozhaevna** — Educational Program 8D06101 Big Data Analytics. Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, PhD, Associate Professor  
E-mail: [raushan85\\_07@mail.ru](mailto:raushan85_07@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>.

© R.N. Moldasheva

**Abstract.** This study focuses on the intellectualization of decision-making support for emergency situations (ES) on railway transport. The relevance of the research is determined by the need to improve the efficiency and accuracy of decision-makers' actions, especially in weakly formalized and rare ES scenarios. The aim of the study is to develop methods and algorithms for intellectualization that reproduce expert actions using artificial neural networks (ANNs). The objectives include: analyzing existing ES classification methods; formalizing expert knowledge; developing and training ANNs based on decision-makers' experience; and evaluating the effectiveness of the proposed approach through practical examples. The results indicate that using ANNs allows accurate classification of different types of ES, predicting the scale of consequences, and generating recommended actions for decision-makers. The proposed ANN training method enables system adaptation to the specifics of individual railway stations, including rare and weakly formalized situations. The study concludes that intellectualization of decision-making support enhances emergency management efficiency, reduces material and human costs, and opens prospects for further research and implementation of decision support systems on railway transport.

**Keywords:** emergency situations, railway transport, intellectualization, artificial neural networks, expert knowledge, decision support

**For citation:** R.N. Moldasheva. Simulation Intellectualization of Managerial Decision Support in Emergency Situations in Railway Transportation//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 95–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.007>

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

## ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР ЖАҒДАЙЫНДА БАСҚАРУШЫЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ЗИЯТТАНДЫРУ

*Р.Н. Молдашева*

Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: [raushan85\\_07@mail.ru](mailto:raushan85_07@mail.ru)

**Молдашева Раушан Нұрқожаевна** — 8D06101 «Үлкен деректер аналитикасы» білім беру бағдарламасы. Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті қауымдастырылған профессоры, PhD



E-mail: raushan85\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>.

© Р.Н. Молдашева

**Аннотация.** Бұл жұмыста теміржол көлігінде төтенше жағдайларда (ТЖ) басқару шешімдерін қабылдауды интеллектуалды қолдау мәселесі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі — шешім қабылдаушылардың әрекеттерін жылдам әрі дәл орындауын қамтамасыз ету қажеттілігі, әсіресе сирек кездесетін және аз формалданған ТЖ жағдайларында. Зерттеудің мақсаты — жасанды нейрондық желілерді (ЖНЖ) пайдаланып, эксперттердің әрекеттерін қайта өндіретін интеллектуалдандыру әдістері мен алгоритмдерін әзірлеу. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді: ТЖ-ны жіктеудің қазіргі әдістерін талдау; эксперттік білімді формализациялау; ЖНЖ-ны шешім қабылдаушылардың тәжірибесі негізінде әзірлеу және оқыту; ұсынылған тәсілдің тиімділігін тәжірибелік мысалдар арқылы бағалау. Зерттеу нәтижесі бойынша ЖНЖ әртүрлі ТЖ түрлерін дұрыс жіктеуге, салдардың ауқымын болжауға және шешім қабылдаушыларға ұсынылатын әрекеттерді қалыптастыруға мүмкіндік береді. Дамытылған ЖНЖ оқыту әдісі жүйені нақты теміржол станциясының ерекшеліктеріне бейімдеуге, соның ішінде сирек және аз формалданған жағдайларға мүмкіндік береді. Зерттеудің қорытындысы — басқару шешімдерін интеллектуалдандыру төтенше жағдайларды тиімді шешуді арттырады, материалдық және адами шығындарды азайтады және теміржол көлігінде шешім қабылдауды қолдау жүйелерін енгізуге әрі қарайғы зерттеулер үшін перспективалар ашады.

**Түйін сөздер:** төтенше жағдайлар, теміржол көлігі, интеллектуализация, жасанды нейрондық желілер, эксперттік білім, шешім қабылдауды қолдау

**Дәйексөздер үшін:** Р.Н. Молдашева. Теміржол көлігіндегі төтенше жағдайлар жағдайында басқарушылық шешімдерді қолдау жүйесін зияттандыру//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 95–109 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.007>

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

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧС НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

*Р.Н. Молдашева*

Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан.

E-mail: raushan85\_07@mail.ru

**Молдашева Раушан Нуркожаевна** — образовательная программа 8D06101 «Аналитика больших данных». Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, ассоциированный профессор, PhD

E-mail: raushan85\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4570-0487>.

© Р.Н. Молдашева

**Аннотация.** В данной работе рассматривается интеллектуализация поддержки принятия управленческих решений при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) на железнодорожном транспорте. Актуальность исследования определяется необходимостью повышения оперативности и точности действий лиц, принимающих решения (ЛПР), особенно в слабоформализуемых и редко встречающихся ситуациях ЧС. Цель исследования заключается в разработке методов и алгоритмов интеллектуализации,



обеспечивающих воспроизведение действий эксперта с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). Для достижения цели решались следующие задачи: анализ существующих методов классификации ЧС; формализация экспертных знаний; разработка и обучение ИНС на основе опыта ЛПР; оценка эффективности предложенного подхода на практических примерах. В результате исследования выявлено, что использование ИНС позволяет корректно классифицировать различные типы ЧС, прогнозировать масштаб последствий и формировать рекомендуемые действия ЛПР. Разработанный метод обучения ИНС обеспечивает адаптацию системы к специфике конкретной железнодорожной станции, включая редкие и слабоформализуемые ситуации. Заключение исследования подтверждает, что интеллектуализация поддержки принятия решений повышает эффективность ликвидации ЧС, снижает материальные и людские затраты, а также открывает перспективы дальнейших исследований и внедрения систем поддержки ЛПР на железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** ЧС, железнодорожный транспорт, интеллектуализация, искусственные нейронные сети, экспертные знания, поддержка принятия решений

**Для цитирования:** Р.Н. Молдашева. Интеллектуализация поддержки принятия управленческих решений при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 95–109. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.007>

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Развитие железнодорожного транспорта в условиях увеличивающегося объема перевозок и роста требований к безопасности создаёт необходимость повышения эффективности управления чрезвычайными ситуациями (ЧС) на объектах инфраструктуры. В современных условиях ЛПР (лицам, принимающим решения) приходится сталкиваться с большим разнообразием аварийных и чрезвычайных ситуаций, включая редкие и сложные случаи, для которых стандартные инструкции и методики могут быть недостаточны (Кульба, 2013: 180–183).

Актуальность исследования определяется тем, что, несмотря на существующие методики управления ЧС, остаются нерешёнными вопросы интеллектуализации поддержки принятия управленческих решений при возникновении редких и слабоформализуемых ситуаций на железнодорожном транспорте (Смирнов, 2024: 1100–1138). Существующие классификационные схемы и подходы к оценке масштаба ЧС, включая определение класса устойчивости приземного слоя атмосферы, имеют значительный разброс результатов и требуют высокой квалификации ЛПР (Цуриков, 2013: 56–65; Callan, 2013: 100–139). Это создаёт потребность в разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений, способных учитывать экспертные знания и слабоформализуемые данные, для уменьшения ошибок и повышения оперативности управления (Васильев, 2000: 100–130).

Объект исследования — процессы принятия управленческих решений при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте.

Предмет исследования — интеллектуальные методы поддержки принятия решений ЛПР с использованием экспертных знаний и алгоритмов машинного обучения.

Цель исследования — разработка методов интеллектуализации поддержки принятия управленческих решений при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте на основе знаний экспертов и технологий искусственных нейронных сетей.

Задачи исследования:

- Проанализировать существующие подходы к классификации ЧС и оценке их масштаба.

- Выявить особенности использования экспертных знаний ЛПР при возникновении слабоформализуемых ситуаций.

- Исследовать возможности применения искусственных нейронных сетей для моделирования действий экспертов при принятии решений в условиях ЧС.

- Разработать авторский метод обучения ИНС на основе знаний эксперта, обеспечивающий корректную классификацию редких и сложных ситуаций.

Методы исследования включают системный анализ, методы интеллектуализации и искусственного интеллекта, машинное обучение, математическое моделирование и экспертизу данных.

Научная новизна работы заключается в разработке метода обучения ИНС, способного воспроизводить интеллектуальные действия опытного ЛПР при редких и слабоформализуемых чрезвычайных ситуациях, что позволяет существенно повысить оперативность и точность принимаемых решений.

Практическая значимость исследования состоит в возможности внедрения разработанных методов в СППУР для железнодорожного транспорта, что способствует снижению материальных и человеческих потерь, оптимизации задействованных ресурсов и повышению безопасности транспортной системы.

Гипотеза исследования заключается в том, что использование ИНС, обучаемых на знаниях экспертов, позволяет воспроизводить действия ЛПР при возникновении ЧС даже в случаях редких и слабоформализуемых ситуаций, обеспечивая точность и оперативность принятия управленческих решений.

#### **Материалы и методы**

Материалом исследования послужили данные о чрезвычайных ситуациях (ЧС), возникших на железнодорожном транспорте, а также сведения о действиях ЛПР, фиксированные в процессе ликвидации последствий ЧС на различных объектах инфраструктуры. Для качественной характеристики материала использовались сведения о типах ЧС (аварии на железнодорожной линии, технологические аварии, аварии с АХОВ и др.), масштабах последствий, числе задействованных ресурсов и степени воздействия на инфраструктуру. Количественно материал исследования включал более 200 случаев возникновения ЧС, зарегистрированных в период с 2013 по 2024 год, а также архивные данные и описания экспертных действий (Кульба, 2013: 180–183; Смирнов, 2024: 1100–1138).

В качестве источников информации использовались:

- научные публикации и монографии по управлению ЧС на железнодорожном транспорте (Цуриков, 2013: 56–65; Васильев, 2000: 100–130);

- архивные материалы предприятий железнодорожного транспорта;

- материалы международных конференций и сборников по интеллектуальным системам управления (Tsurikov, 2013: 226–231);

- описания технологий искусственных нейронных сетей и методов интеллектуализации (Winston, 2020: 115–230; Luger, 2008: 75–85).

Вопросы исследования включали:

- Как обеспечить корректную классификацию чрезвычайных ситуаций, возникающих на железнодорожном транспорте, включая редкие и слабоформализуемые случаи?

- Какие методы интеллектуализации и алгоритмы машинного обучения позволяют моделировать действия опытных ЛПР при возникновении ЧС?

- Как построить обучающую выборку для ИНС на основе знаний экспертов, чтобы минимизировать ошибки при классификации редких ЧС?

Предложенная гипотеза (тезис): использование искусственных нейронных сетей, обученных на базе знаний экспертов, позволяет воспроизводить действия ЛПР при возникновении ЧС с достаточной точностью и оперативностью, включая редко

встречающиеся и слабоформализуемые ситуации.

Этапы исследования:

- Сбор и систематизация данных о ЧС на железнодорожном транспорте, включая архивные материалы и публикации.

- Выявление и классификация типовых и нетиповых ситуаций ЧС, определение критериев масштабности и воздействия (Цуриков, 2013: 56–65; Callan, 2013: 100–139).

- Анализ опыта работы ЛПР, включая опыт экспертов, и выделение слабоформализуемых знаний, важных для принятия управленческих решений (Асанов, 2002: 12–59).

- Разработка модели искусственной нейронной сети для имитации действий ЛПР, включая обучение «с учителем» на основе экспертных данных.

- Тестирование разработанной ИНС на контрольных данных, проверка корректности классификации ЧС и адекватности рекомендаций для ЛПР.

- Сравнительный анализ эффективности ИНС с традиционными методами поддержки принятия решений.

Методы исследования:

- Системный анализ – для изучения структуры процессов принятия решений ЛПР и их взаимодействия с инфраструктурой железнодорожного транспорта;

- Методы классификации и машинного обучения – разработка и обучение ИНС на базе знаний экспертов;

- Математическое моделирование – построение моделей классификации ЧС и оценки масштаба воздействия;

- Экспертные методы – выявление слабоформализуемых знаний ЛПР и формализация их в виде обучающих данных для ИНС (Winston, 2020: 115–230; Luger, 2008: 75–85);

- Статистический анализ – обработка количественных данных о ЧС для проверки достоверности и обоснованности результатов (Смирнов, 2024: 1100–1138).

Использование комбинации качественного и количественного анализа материалов, а также интеграция методов интеллектуализации, машинного обучения и экспертных оценок обеспечивают достоверность полученных выводов и позволяют реализовать новизну подхода — обучение ИНС на основе опыта конкретного эксперта для поддержки принятия управленческих решений при ЧС на железнодорожном транспорте.

### Результаты и обсуждение

Большинство интеллектуальных задач, решаемых ЛПР при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте, относятся к задачам классификации.

Среди них центральное место можно отвести задаче оценки масштаба возникшей ЧС на основе имеющихся данных. Именно в проведении предварительной оценки масштаба ЧС нуждается ЛПР в первые минуты после получения информации о возникновении ЧС (Кульба, 2013:180–183).

Математическая постановка этой задачи практически идентична ранее приведенной постановке задачи классификации в общем виде. Если принять, что  $Z$  – это множество параметров ЧС, которые могут быть получены ЛПР при ее возникновении, а  $M$  – множество классов масштаба ЧС, к которым она может быть отнесена и, при этом, существует неизвестная зависимость  $z^*: Z \rightarrow M$ , значения которой известны только на объектах конечной выборки  $Z_i =$

$\{(z_i, m_i)\}$ ,  $i = 1, \dots, k$ , то необходимо создать систему  $\gamma: Z \rightarrow M$ , способную корректно классифицировать произвольную ЧС масштаба  $m \in M$ .

От успешного решения этой задачи во многом зависит выполнение последующих операций ТП принятия решений при возникновении ЧС. Т.е. ее можно рассматривать как основу принятия управленческих решений. В СППУР это позволяет определять рекомендуемый ЛПР набор действий при возникновении ЧС, как функцию (соответствие)

от масштаба и типа произошедшей ЧС:

$$F(M, T) \rightarrow P,$$

(1)

где  $M$  – масштаб ЧС,

$T$  – тип ЧС,

$P$  – рекомендуемый ЛПР набор действий.

При этом в рекомендуемый ЛПР набор действий  $P$  входят не только советы по рекомендуемому порядку действий, сформированные на основе действующей НТД, но и другие элементы:

$$(So, Me, In) \square P, \quad (2)$$

где  $So$  – советы по рекомендуемому порядку действий, сформированные на основе действующей НТД (фрагменты НТД),

$Me$  – формализованные расчетные методики, соответствующие типу и масштабу ЧС, реализованные в виде компьютерных подпрограмм,

$In$  – сценарии информирования внешних ЛПР о возникновении ЧС (списки информирования и шаблоны типовых сообщений).

Такой подход позволяет абстрагироваться от принципиально различных по своей природе явлений и процессов, сформировавших возникшую ЧС и организовать поддержку принятия решений ЛПР на основе ожидаемого масштаба ЧС. Таким образом, СППУР будет способствовать оперативному решению информационных и расчетных задач на основе полученного решения интеллектуальной задачи классификации ЧС.

Также важной задачей классификации, решаемой ЛПР при возникновении ЧС с АХОВ, является задача определения класса устойчивости приземного слоя атмосферы [58], который оказывает значительное влияние на интенсивность рассеивания примесей в приземном слое воздуха и определяет глубину распространения облака АХОВ, а, следовательно, и масштаб такой ЧС.

По существующим методикам (Цуриков, 2013: 56–65; Callan, 2013: 100–139) ЛПР определяют класс устойчивости атмосферы при помощи таблиц, подставляя в них метеоданные фактической погоды (скорость ветра, уровень облачности, время суток, наличие снежного покрова), которые могут быть получены от метеостанций или путем непосредственного наблюдения. Опытные ЛПР (эксперты) (Асанов, 2002: 12–59) способны определить класс устойчивости атмосферы визуально по внешним признакам.

Однако у большинства ЛПР это может вызвать затруднения, особенно в экстремальных условиях ЧС.

Согласно НТД (Цуриков, 2013: 56–65; Callan, 2013: 100–139), если невозможно точно определить устойчивость атмосферы, то при принятии решений ЛПР должны исходить из ее наихудшего состояния, что ведет к завышенной оценке глубины зоны заражения АХОВ. А следовательно, приводит к необоснованным материальным затратам, преувеличению потребных сил и средств ликвидации ЧС, ошибочному вызову служб на место ЧС, «оголению» других участков и т.д.

Отмечается (Васильев, 2000: 100–130), что используемые классификационные схемы дают значительный разброс при оценке класса устойчивости атмосферы. В более ранних методиках (Цуриков, 2013: 56–65) устойчивость атмосферы характеризовалась тремя состояниями – конвекцией, изотермией, инверсией. Из них инверсия, способствующая сохранению высоких концентраций АХОВ и их распространению, является наиболее неблагоприятной.

В новых документах (Callan, 2013: 100–139) вводится уже шесть классов устойчивости атмосферы (модифицированные классы по Паскуилу) –  $A, B, C, D, E, F$ . Наиболее неблагоприятными с точки зрения распространения АХОВ являются классы  $E$  и  $F$ . Также (Васильев, 2000: 100–130) существует классификация по Тернеру, вводящая 7

классов устойчивости атмосферы. Для характеристики атмосферы возможно использовать и лингвистические переменные (очень неустойчивая, умеренно неустойчивая и т.д.), соответствующие оценкам, обычно используемым ЛПР при принятии решений. Соответствие между классами устойчивости атмосферы приведено в таблице 1.

Задача определения класса устойчивости атмосферы математически формулируется, как задача классификации, где  $G = [\text{скорость ветра, уровень облачности, время суток, снежный покров}]$  – множество описаний параметров фактической погоды,  $Q = \{A, B, C, D, E, F\}$  – множество классов устойчивости атмосферы. Существует неизвестное отображение  $g^*: G \rightarrow Q$ , значения которого известны только на объектах конечной выборки  $G_j = \{(g_i, q_i), \dots, (g_i, q_i)\}$ . Требуется найти алгоритм  $\beta: G \rightarrow Q$ , способный корректно классифицировать произвольное состояние погоды  $g \in G$ .

Таблица 1. Качественные соответствия между классами устойчивости и характеристикой атмосферы

Характеристика атмосферы	Класс устойчивости по Тернеру	Класс устойчивости по Паскуилу	Степень устойчивости атмосферы
Очень неустойчивая	1	A	
Умеренно неустойчивая	2	B	
Слабо неустойчивая	3	C	
Безразличная	4		
Слабо устойчивая	5		
Умеренно устойчивая	6	E	
Очень устойчивая	7	F	

Подобным образом могут быть сформулированы и другие задачи классификации, обычно решаемые ЛПР при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте, например, задача выбора подходящего для ликвидации ЧС места остановки железнодорожного состава и т.д.

Ранее указывалось, что при решении таких интеллектуальных задач наблюдается разница между действиями опытных ЛПР (экспертов) и большинства других ЛПР, не успевших приобрести достаточный опыт принятия управленческих решений. Также отмечалось, что даже опытные ЛПР в напряженной обстановке ЧС могут проявить растерянность и не выполнить необходимые действия. Поэтому для успешной поддержки принятия решений следует использовать знания только опытных ЛПР (экспертов), извлеченные и сохраненные в памяти СППУР, которая не растеряется при возникновении ЧС и поможет выполнить необходимые действия.

Под экспертами здесь и далее понимаются ЛПР, способные успешно справляться с решением интеллектуальных задач при возникновении ЧС, обладающие необходимыми специальными знаниями и навыками принятия верных управленческих решений, компетентные в рассматриваемой предметной области. Экспертное знание формируется при практическом решении задач в течение длительного времени. Отмечается (Tsurikov, 2013: 226–231), что ЛПР требуется более 10 лет, чтобы стать опытным экспертом.

При этом также следует иметь в виду, что при решении задач классификации эксперт учитывает специфические условия, присущие конкретной железнодорожной станции, на которой возникла ЧС. Поэтому, для обеспечения массового тиражирования разрабатываемой СППУР в ней должны быть предусмотрены возможности легкой настройки и адаптации на месте ее внедрения, обучения на основе априорных экспертных знаний и информации, полученной в ходе эксплуатации системы.

Интеллектуализацию можно определить, как процесс моделирования и воспроизведения с помощью ЭВМ деятельности человека, связанной с решением интеллектуальных задач (Winston, 2020: 115–230). В работах (Tsurikov, 2013: 226–231; Winston, 2020: 115–230; Luger, 2008: 75–85) отмечается принципиальное различие в подходах к интеллектуализации для хорошо формализуемых предметных областей, к

которым относятся задачи физики и математики, и слабоформализуемых областей, к которым относится большинство ситуаций, объектов и ТП на транспорте, в том числе, и приведенные в этом разделе задачи классификации ЧС.

К особенностям слабоформализуемых предметных областей относят то, что в них определяющими факторами при принятии решений являются профессиональные умения, опыт и интуиция эксперта (слабоформализуемые знания). Основные проблемы извлечения слабоформализуемых экспертных знаний обусловлены тем, что правила, которые удается получить от эксперта в явном виде, охватывают лишь наиболее простые задачи из тех, которые он способен правильно решить, а значительную часть своего профессионального опыта эксперты не могут выразить словесно (вербально) (McCarthy, 2006: 12–14).

Решение указанной проблемы извлечения экспертных знаний в слабоформализуемых предметных областях определяет основные аспекты дальнейшего построения системы. Проблема относится к наиболее сложным, актуальным и до сих пор не решенным в полной мере, являясь «узким местом» при создании систем, основанных на знаниях. Исследования в этом направлении продолжаются (Tsurikov, 2013: 226–231; Luger, 2008: 75–85).

Задача осложняется тем, что в область слабоформализуемых знаний эксперта попадают редко встречающиеся на практике случаи возникновения ЧС. Однако именно в таких ситуациях ЛПП в наибольшей степени нуждается в интеллектуальной поддержке принятия решений со стороны СППУР (Смирнов, 2024: 1100–1138).

Проиллюстрируем это графически, на примере случая двухклассовой классификации линейно сепарабельных ситуаций, когда число классов равняется двум, который может служить образцом решения более сложных задач.

На рисунке 1 вектор признаков  $u = [u_1, u_2]$ , описывающих исследуемую ситуацию состоит из двух признаков  $u_1$  и  $u_2$  отложенных по соответствующим координатным осям. Эксперту на основе своего опыта и знаний следует классифицировать произвольную ситуацию  $u$ , отнеся ее к классу А или к классу В. Поскольку классы линейно отделены, т.е. лежат в двух различных полупространствах, то их следует разделить прямой линией, называемой решающей границей (decision boundary).

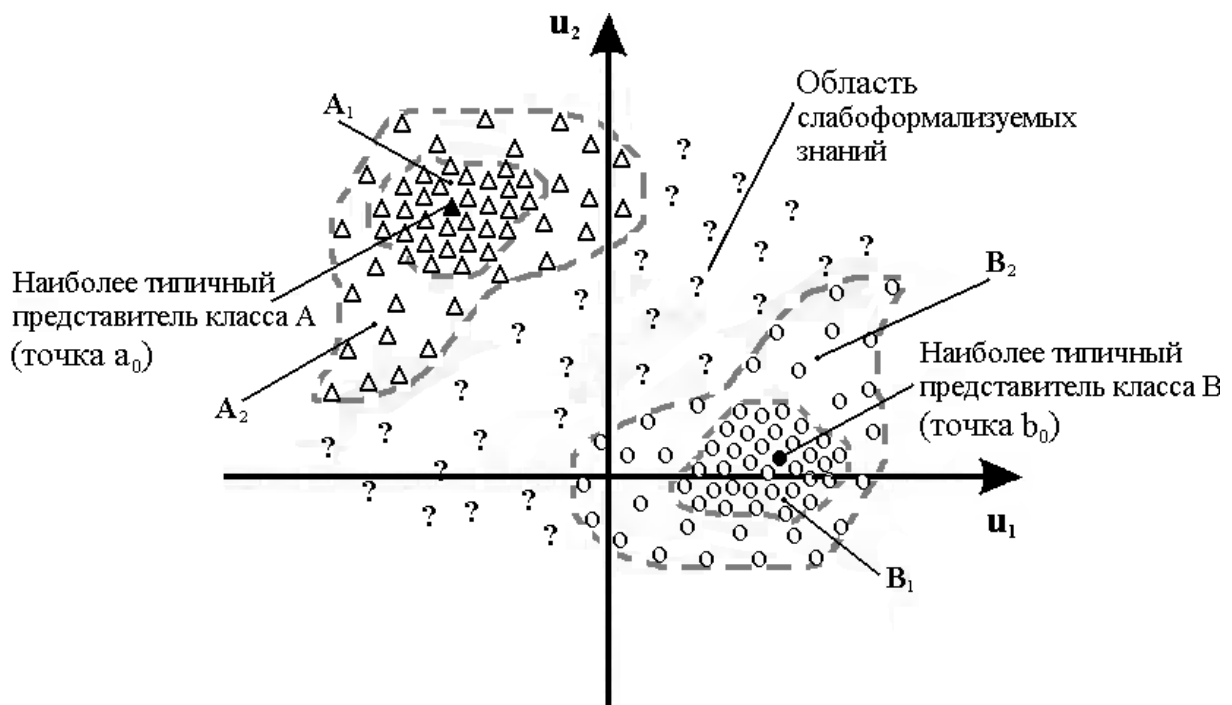


Рис. 1. Графическая иллюстрация слабоформализуемых знаний эксперта

На рисунке 1 показано, что эксперт в своей повседневной практике чаще всего встречается с ситуациями, принадлежащими к областям  $A_1$  и  $B_1$ , находящимся в окрестностях точек  $a_0 \in A_1$  и  $b_0 \in B_1$  пространства признаков, описывающих наиболее типичных представителей каждого класса.

Евклидово расстояние

$$R(a_0, b_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (u_{ia} - u_{ib})^2}, \quad (3)$$

где  $n = 2$  (число координат равняется двум), между точками  $a_0$  и  $b_0$ , описывающими наиболее типичных представителей каждого класса, много больше расстояния от точки  $a_0$  до границы области  $A_1$  ( $B_1$  аналогично).

Для областей  $A_1$  и  $B_1$  эксперты могут вербально объяснить правила классификации, которыми они пользуются в своей работе. Ситуации, принадлежащие к областям  $A_2$  и  $B_2$  (и не принадлежащие к  $A_1$  и  $B_1$ ) встречаются реже, эксперту вербально сформулировать правила классификации для этих ситуаций намного труднее, но возможно.

Далее, между областями  $A_2$  и  $B_2$ , находится область слабо формализуемых знаний эксперта. Здесь должна проходить линия решающей границы, но поскольку в этой области находятся редко встречающиеся на практике случаи возникновения ЧС, а эксперт при их классификации использует свои слабо формализуемые знания, то очень сложно определить, где следует провести эту линию (т.е. найти уравнение, задающее решающую границу).

В работе (Luger, 2008: 203–235) была выдвинута гипотеза и проведена серия экспериментов, подтвердивших, что эксперт при классификации интуитивно не использует правила разделения классов (т.е. уравнения решающих границ), но при этом способен верно отнести конкретные ситуации из области слабо формализуемых знаний к их классам.

Также установлено, что эксперты практически всегда способны корректно описать признаки (в том числе и с указанием их точных числовых значений) «наиболее типичных представителей» каждого исследуемого класса ситуаций (или объектов). Т.е. всегда можно найти и описать ситуации  $a_0$  и  $b_0$ , принадлежащие областям  $A_1$  и  $B_1$ :

$$\square a_0, a_0 \in A_1 \text{ и } \square b_0, b_0 \in B_1 \quad (4)$$

Определение этих особенностей работы эксперта при решении задач классификации, открывает возможности интеллектуализации разрабатываемой СППУР при возникновении ЧС на железнодорожном транспорте и извлечения знаний эксперта, относящихся к области слабоформализуемых знаний.

Технологии, относящиеся к интеллектуализации систем, включают в себя многие идеи разных дисциплин: математики, философии, психологии, биологии, теории управления и т.д. К началу 21-го века наука позволила разработчикам иметь у себя в арсенале несколько технологий интеллектуализации (продукционные правила, нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика и т.д.), а также использовать их различные сочетания (т.н. «гибридные технологии») (Winston, 2020: 135–234).

Подход к созданию интеллектуальных экспертных и советующих систем, уже ставший «классическим» (Winston, 2020: 135–234; McCarthy, 2006: 12–14), предполагает использование баз знаний, содержащих совокупность фактов и правил логического вывода, моделирующих поведение эксперта с использованием процедур логического вывода и

принятия решений (производственные системы).

Эффективность производственных, нечетко-логических систем и их модификаций во многом определяется объемом и качеством содержащихся в них формализованных экспертных знаний. Для этого специалисты, которых называют инженерами по знаниям, при построении баз знаний, должны представить в формализованной форме логические рассуждения и заключения экспертов о предметной области, которые ложатся в основу базы знаний.

Как указывалось в предыдущем разделе, практически невозможно сформулировать адекватные правила-продукции для областей слабоформализуемых знаний. Построение и тестирование достоверных производственных моделей в этих областях вызывает серьезные трудности.

Согласно подходу к решению этой проблемы, используемому рядом авторов (Winston, 2020: 135–234), предлагается выделить те области пространства признаков, для которых отсутствуют достаточные данные, и если эти области имеют значительный размер, то просто исключить их из процесса моделирования, указав пользователю, что в этих областях модель неработоспособна.

Такой подход используется, но он не подходит для выбранной в исследовании предметной области, поскольку, как уже отмечалось, именно в таких, редко встречающихся случаях возникновения ЧС, ЛПР, не обладающее достаточным опытом, в наибольшей степени нуждается в интеллектуальной поддержке принятия своих решений.

В других подходах, являющихся наиболее перспективными с точки зрения их использования в разрабатываемой СППОР, используют методы, основанные на различных алгоритмах машинного обучения, среди которых в первую очередь следует выделить искусственные нейронные сети, позволяющие создавать работоспособные системы для слабоформализуемых областей знаний. Как отмечается в (Winston, 2020: 135–234), ИНС подходят для решения класса задач, где используются не столько формализованные правила, как в традиционных экспертных системах, сколько опыт самого эксперта.

Известно, что корректно обученные ИНС эффективно справляются с решением разнообразных практически востребованных задач классификации. На основе технологии ИНС и ее различных вариаций уже создано или находится в стадии разработки множество систем, применяемых для поддержки принятия решений в различных областях народного хозяйства, включая и железнодорожный транспорт.

ИНС представляют собой аппаратные и/или программные системы, построенные по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живых организмов. ИНС возникли в середине 20-го века, как попытка смоделировать процессы, протекающие в мозге человека.

ИНС является системой взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов), соединенных в достаточно большую сеть, имеющую несколько слоев. Каждый нейрон ИНС обрабатывает сигналы, которые он периодически получает, и сигналы, которые он посылает другим нейронам, если сумма сигналов соответствует заданному порогу (функции активации). Будучи соединенными в сеть, такие нейроны вместе способны решать сложные задачи, в частности, задачи классификации.

Процесс определения корректных весов межнейронных (синаптических) связей называется «обучением» ИНС. Возможность обучения – одно из главных преимуществ ИНС. Эффективность их работы зависит от правильной организации процесса обучения, что является важной и творческой задачей.

К одним из наиболее популярных способов машинного обучения ИНС решению задач классификации относится обучение «с учителем» (*supervised learning*), в ходе которого ИНС обучается с помощью примеров «стимул-реакция» (наборов пар, состоящих из обучающих векторов  $u(n)$  и эталонных сигналов  $d(n)$ ).

Между обучающими векторами и эталонными сигналами («стимул-реакция»)

существует некоторая зависимость, но она неизвестна. Известна только обучающая выборка – конечная совокупность из  $n$  пар «стимул-реакция». На основе этих данных требуется так настроить синаптические веса ИНС  $w(n)$ , чтобы по завершении процесса обучения ИНС могла корректно классифицировать поступающие на ее вход сигналы, включая и те, что отсутствовали в обучающей последовательности.

В отличие от производственных систем, где используется дедуктивное (лат. *deductio* – выведение) решение задач на основе ограниченного числа заранее определенных правил-продукций, обучение ИНС на основе некоторого множества предъявленных примеров (пар «стимул-реакция») является индуктивным обучением (лат. *inductio* – наведение), а формируемое ИНС предположение о виде неизвестных уравнений решающих границ – гипотезой.

Рассмотрим способ обучения ИНС «с учителем» в случае линейно сепарабельных классов на примере модели ИНС, называемой перцептрон. На рис. 2.2 представлена структура перцептрона, построенная в соответствии с описанием его создателя Ф. Розенблатта, приведенным в книге.

Задача перцептрона заключается в классификации вектора входных сигналов ИНС  $u(n) = [u_1(n), \dots, u_N(n)]$  в смысле отнесения его к одному из двух классов (рассматриваемый случай, когда число классов  $S = 2$ ), обозначаемых символами  $A$  и  $B$ .

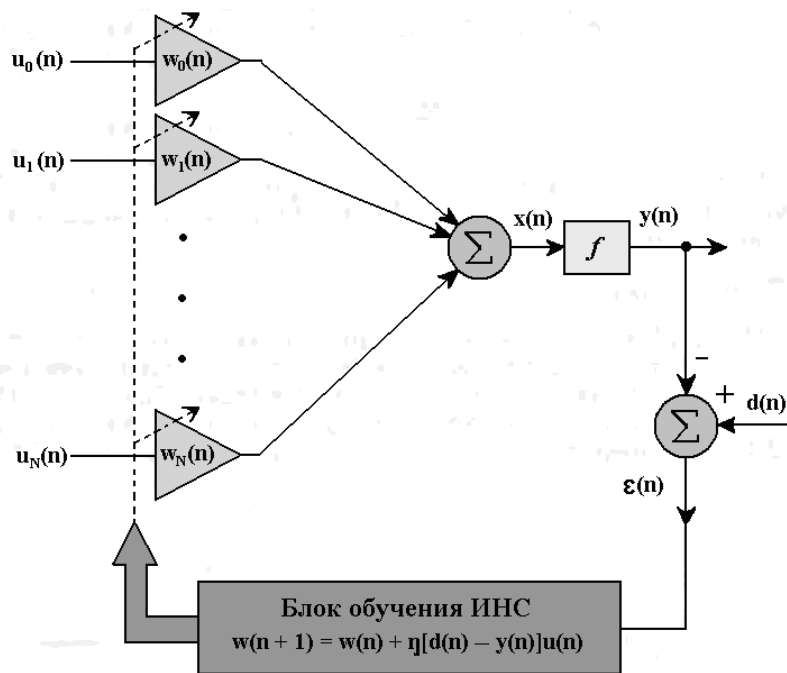


Рис. 2. Структура ИНС типа перцептрон

Т.к. в перцептроне в качестве функции активации  $f$  используется функция:

$$y = f\left(\sum_{i=0}^N w_i u_i\right), \quad (5)$$

в которой

$$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq 0; \\ -1, & \text{при } x < 0, \end{cases} \quad (6)$$

где  $w_0, \dots, w_N$  – синаптические веса ИНС,

$y$  – выходной сигнал ИНС, то перцептрон относит вектор  $u(n)$  к классу  $A$ , если выходной сигнал  $y$  принимает значения 1 и, к классу  $B$ , если выходной сигнал  $y$  принимает

значение  $-1$ .

Персептрон разделяет  $N$ -мерное пространство входных векторов  $u(n)$  на два полупространства, разделяемые  $(N-1)$ -мерной гиперплоскостью (решающей границей), задаваемой уравнением сигнала  $x$  на выходе линейной части персептрона:

$$\sum_{i=0}^N w_i u_i = 0, \tag{7}$$

где  $w_0 u_0 = -v$  пороговое значение.

Решающая граница (7) при  $N = 2$  превращается в прямую линию, задаваемую уравнением:

$$w_1 u_1 + w_2 u_2 - v = 0. \tag{8}$$

Любая точка  $u(n) = [u_1, u_2]$ , лежащая над этой прямой, показанной на рисунке 3, относится к классу  $A$ , тогда как точка  $u(n) = [u_1, u_2]$ , лежащая под этой прямой, будет относиться к классу  $B$ .

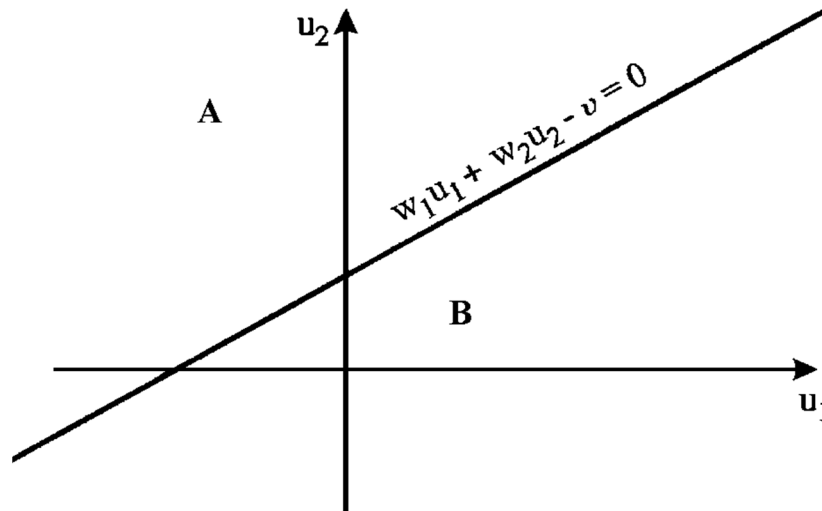


Рис. 3. Двумерное пространство входных векторов ИНС и разделяющая классы решающая граница

Блок обучения персептрона корректирует веса синаптических связей  $w(n)$  по мере обучения в соответствии со следующей формулой:

$w(n+1) = w(n) + \eta[d(n) - y(n)]u(n)$ . (9) Разность  $d(n) - y(n)$  в формуле (9) является погрешностью  $\epsilon(n)$  между эталонным (заданным) сигналом  $d(n)$  и фактическим выходным сигналом  $y(n)$ , а параметр  $\eta$  при  $0 < \eta < 1$  – это шаг коррекции синаптических весов. Доказано [75, 76], что алгоритм (9) с итерации *посходится*, т.е.  $w(n_0) = w(n_0 + 1) = w(n_0 + 2) = \dots$  (10)

Согласно теореме сходимости алгоритма обучения персептрона с фиксированным приращением, это свидетельствует об окончании обучения.

Веса  $w_i, i = 0, 1, \dots, N$  в уравнении гиперплоскости (7) изначально неизвестны. В процессе обучения на вход персептрона последовательно подаются обучающие векторы (сигналы)  $u(n), n = 1, 2, \dots$ , где  $u(n) = [u_1(n), \dots, u_N(n)]$ . Задача обучения персептрона, по сути, и состоит в поиске неизвестных значений синаптических весов  $w_i$ . Их нахождение позволяет построить гипотезу уравнения решающей границы. По завершении процесса обучения персептрон должен корректно классифицировать поступающие на его вход сигналы, в том числе и те, которые отсутствовали в обучающей последовательности  $u(n), n = 1, 2, \dots, K$ .

Классы, не соответствующие условию линейной сепарабельности, могут быть разделены ИНС типа перцептрон в случае увеличения числа ее слоев. Обучение других моделей ИНС «с учителем», в целом, происходит аналогично описанному выше. Под ИНС в дальнейшем будем обозначать искусственную нейронную сеть, подходящую для решения задач классификации и поддающуюся обучению путем коррекции вектора синаптических весов.

Очевидно, что точность имитации деятельности эксперта при помощи ИНС зависит от полноты и достоверности используемой обучающей выборки, что не всегда удается обеспечить на практике, особенно для описанных ранее слабо формализуемых предметных областей. Отсутствие достаточного ряда наблюдений исследуемых ситуаций не позволяет сформировать необходимого числа обучающих векторов для корректного обучения ИНС «с учителем».

Существует и такой способ обучения ИНС, при котором она устанавливается на рабочем месте опытного ЛПР и имеет возможность следить за фактически предпринимаемыми им действиями при возникновении тех или иных ситуаций, в результате чего обучается действовать в таких ситуациях подобно этому ЛПР. Однако, как уже неоднократно отмечалось, многие ЧС могут происходить достаточно редко, а поэтому на обучение ИНС таким образом может потребоваться непозволительно много времени (месяцы, годы).

Для преодоления указанных недостатков требуется разработка метода обучения ИНС, позволяющего производить обучение ИНС на основе знаний эксперта, в том числе и в слабо формализуемых предметных областях, за приемлемое время. Метод должен позволить обучить ИНС так, чтобы она содержала в себе знания конкретного эксперта, участвующего в ее обучении, и имитировала элементы его интеллектуальной деятельности при возникновении ЧС.

Такая постановка задачи согласуется с известным тестом, предложенным А.Тьюрингом, согласно которому компьютерная система считается интеллектуальной, если она может действовать подобно человеку. Академик В.М. Глушков сформулировал это таким образом, что следует искать «практически функционирующие алгоритмы, которые работали бы так же или лучше, чем специалист этой области».

Авторский метод обучения ИНС решению задач классификации на основе знаний эксперта, позволяющий преодолеть указанные трудности, будет подробно описан в следующем разделе диссертации.

### **Заключение**

Целью настоящего исследования являлась интеллектуализация поддержки принятия управленческих решений при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) на железнодорожном транспорте. Для достижения поставленной цели были определены объект и предмет исследования: объектом выступали процессы принятия управленческих решений при ЧС, предметом — методы и алгоритмы интеллектуализации деятельности ЛПР с использованием экспертных знаний и технологий искусственных нейронных сетей (ИНС).

Методы исследования включали системный анализ, классификацию ЧС, машинное обучение, математическое моделирование и экспертные методы. В качестве материала исследования использовались сведения о более чем 200 случаях ЧС на железнодорожном транспорте за период 2013–2024 годов, архивные материалы предприятий железнодорожного транспорта, публикации научных источников, материалы международных конференций и описание технологий интеллектуализации.

В ходе исследования была подтверждена гипотеза о том, что использование ИНС, обученных на основе знаний экспертов, позволяет воспроизводить действия ЛПР при ЧС с достаточной точностью и оперативностью, включая редкие и слабоформализуемые ситуации. Проведен анализ интеллектуальных задач, решаемых ЛПР, в том числе задачи

оценки масштаба ЧС и классификации состояния атмосферы при авариях с АХОВ. Выявлены области, в которых экспертные знания трудно формализуются, и предложен метод обучения ИНС с использованием опыта конкретного ЛПР для воспроизведения действий эксперта в этих областях.

Результаты исследования показали, что построение обучающих выборок на основе экспертного опыта позволяет ИНС корректно классифицировать различные типы ЧС, прогнозировать масштаб последствий и формировать рекомендуемые наборы действий для ЛПР. Обучение «с учителем» на базе экспертных данных обеспечивает индуктивное моделирование решений и воспроизводство действий эксперта, что особенно важно при слабоформализуемых ЧС, которые возникают редко и требуют оперативного реагирования.

Выводы исследования заключаются в следующем:

- Интеллектуализация поддержки принятия управленческих решений позволяет повысить оперативность и точность действий ЛПР при ЧС на железнодорожном транспорте.

- Использование искусственных нейронных сетей обеспечивает моделирование действий экспертов, включая слабоформализуемые и редкие случаи ЧС.

- Формализация экспертных знаний в виде обучающих выборок и их интеграция в ИНС повышает достоверность рекомендаций ЛПР и снижает риск необоснованных материальных и людских затрат при ликвидации ЧС.

- Разработанная методика обучения ИНС позволяет адаптировать систему к специфике конкретной железнодорожной станции, обеспечивая массовое тиражирование и внедрение системы поддержки принятия решений.

Перспективы внедрения результатов исследования включают:

- использование разработанных моделей ИНС в системах автоматизированного управления ЧС на железнодорожном транспорте;

- интеграцию ИНС с современными системами мониторинга состояния инфраструктуры и технологических процессов;

- создание обучающих программ для ЛПР с использованием симуляций и сценариев реальных ЧС;

- расширение применения предложенной методики на другие транспортные и критически важные отрасли, где действия ЛПР определяются редкими и слабоформализуемыми событиями.

Таким образом, исследование подтвердило истинность выдвинутого тезиса о возможности интеллектуализации поддержки принятия решений на основе экспертных знаний и машинного обучения. Полученные результаты способствуют изменению научного знания в области управления ЧС на железнодорожном транспорте, предлагая новый подход к обучению и поддержке ЛПР, обеспечивая повышение эффективности ликвидации последствий ЧС, минимизацию затрат и рисков, а также открывая перспективы дальнейших исследований в области интеллектуальных систем поддержки управленческих решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

Асанов, 2002 — Асанов А.А. Методы извлечения и анализа экспертных знаний: автореф. дис. На соискание ученой степени кандидата техн. наук по спец-ти 05.13.10. — Москва: Институт системного анализа РАН. — 2002. — 129 с. [Russ.]

Васильев, 2000 — Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами — М.: Физико-математическая литература. — 2000. — 352 с. [Russ.]

Кульба, 2013 — Кульба В.В., Шелков А.Б., Чернов И.В. Анализ эффективности использования сценарного подхода в процессах управления ликвидацией последствий ЧС на объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ-2013): Вторая научно-техническая конференция (21–22 октября 2013 г., Москва, Россия). ОАО «НИИАС». — 2013. — С. 180–183. [Russ.]

Цуриков, 2013 — Цуриков А.Н., Гуда А.Н., Вережкина О.И., Домницкий Н.К. Принципы построения интеллектуальной советующей системы управления и оповещения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Проблемы анализа риска. — 2013. — Т. 10. — № 5. — С. 56–65. [Russ.]

Смирнов, 2024 — Смирнов А.В., Пономарёв А.В., Шилов Н.Г. и др. Концепция построения коллаборативных систем поддержки принятия решений: подход и архитектура платформы. // Информатика и автоматизация. — 2024. — 23(4). — P. 1100–1138. [Eng.]

Callan, 2013 — Callan R. The Essence of Neural Networks — Harlow, England: Prentice Hall Europe. — 1999. — 248 p. [Eng.]

Tsurikov, 2013 — Tsurikov A.N. Application of artificial neural network for identification of stability of bottom layer of atmosphere // Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Academic Conference. — March 8-10, 2013. — Publishing House «Science and Innovation Center». — St. Louis, Missouri, USA. — 2013. — P. 226–231. [Eng.]

Winston, 2020 — Winston P. H. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. — Pearson, 2020. — 1152 p. [Eng.]

Luger, 2008 — Luger G. F. Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 6th ed. — Pearson. — 2008. — 720 p. [Eng.]

McCarthy, 2006 — McCarthy J., Minsky M. L., Rochester N., Shannon C. E. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence // AI Magazine. — 2006. — Vol. 27. — No. 4. — P. 12–14. [Eng.]

#### REFERENCES

Asanov, 2002 — Asanov, A.A. (2002). Metody izvlecheniya i analiza ekspertnykh znaniy [Methods of extraction and analysis of expert knowledge]: Avtoref. dis. na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhn. nauk po spetsial'nosti 05.13.10. — Moskva: Institut sistemnogo analiza RAN. — 2002. — 129 p. [in Russ.]

Callan, 1999 — Callan, R. (1999). The Essence of Neural Networks. — Harlow, England: Prentice Hall Europe. — 1999. — 248 p. [in Eng.]

Kul'ba, 2013 — Kul'ba, V.V., Shelkov, A.B., Chernov, I.V. (2013). Analiz effektivnosti ispol'zovaniya stsennarnogo podkhoda v protsessakh upravleniya likvidatsiei posledstviy ChS na ob'ektakh infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta [Analysis of the effectiveness of the scenario-based approach in managing emergency response at railway infrastructure facilities]. — Moskva: OAO «NIAS». — 2013. — Pp. 180–183. [in Russ.]

Luger, 2008 — Luger, G.F. (2008). Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 6th ed. — Pearson. — 2008. — 720 p. [in Eng.]

McCarthy, 2006 — McCarthy, J., Minsky, M.L., Rochester, N., Shannon, C.E. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. — AI Magazine. — 2006. — Vol. 27, No. 4. — Pp. 12–14. [in Eng.]

Tsurikov, 2013 — Tsurikov, A.N., Guda, A.N., Verevkina, O.I., Domnitskii, N.K. (2013). Printsipy postroeniya intellektual'noi sovetuyushchei sistemy upravleniya i opovescheniya pri likvidatsii posledstviy chrezvychainykh situatsii na zheleznodorozhnom transporte [Principles of building an intelligent advisory and alert system for emergency response on railway transport]. — Problemy analiza riska. — 2013. — Vol. 10. — No. 5. — Pp. 56–65. [in Russ.]

Tsurikov, 2013 — Tsurikov, A.N. (2013). Application of artificial neural network for identification of stability of bottom layer of atmosphere. — St. Louis, Missouri, USA: Publishing House «Science and Innovation Center». — 2013. — Pp. 226–231. [in Eng.]

Vasil'ev, 2000 — Vasil'ev, S.N., Zherlov, A.K., Fedosov, E.A., Fedunov, B.E. (2000). Intellektnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami [Intelligent control of dynamic systems]. — Moskva: Fiziko-matematicheskaya literatura. — 2000. — 352 p. [in Russ.]

Smirnov, 2024 — Smirnov, A.V., Ponomaryov, A.V., Shilov, N.G. et al. (2024). Kontseptsiya postroeniya kollaborativnykh sistem podderzhki prinyatiya reshenii: podkhod i arkhitektura platformy [Concept for building collaborative decision support systems: approach and platform architecture]. — Informatika i avtomatizatsiya. — 2024. — 23(4). — Pp. 1100–1138. [in Eng.]

Winston, 2020 — Winston, P.H. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. — Pearson. — 2020. — 1152 p. [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 3. Number 83 (2024). Pp. 110–120  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.008>

## METHODOLOGY FOR CALCULATING THE LOAD-BEARING AND TENSILE ELEMENTS OF SAFETY BARRIERS FOR COMPLEX LOADS

*C. Turdali*

International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz)

**Berik Turdali** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-1575-4975>.

© B. Turdali

**Abstract.** Modern cable and cord structures are widely used in construction, mechanical engineering, and engineering systems due to their high strength, low weight, and ability to withstand significant tensile forces. However, accurate determination of the stress-strain state of flexible elements on elastic supports remains a challenging task, especially under combined loads and pre-tension. The purpose of this study is to develop a universal method for calculating very shallow cables considering pre-tension, elastic settlements of supports, and various loading types. Five calculation schemes are analyzed, analytical relations for determining forces, deflections, moments, and cable length are obtained, and the results are compared with experimental data. The proposed method provides high accuracy: the error in determining sag under uniform load does not exceed 0.3 %, and under concentrated load — up to 9.3 %; errors in thrust forces reach up to 9.63 % and 6 %, respectively. A reliability model for the cable under a concentrated load is developed, allowing determination of allowable loads and critical states. The method can be applied in the design of cable systems, suspension structures, and mechanical components and serves as a basis for further research on spatial systems and dynamic effects.

**Keywords:** flexible cables, elastic supports, pre-tension, concentrated load, deflection, reliability model

**For citation:** B. Turdali. Methodology for calculating the load-bearing and tensile elements of safety barriers for complex loads//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 83. Pp. 110–120. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.008>

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

## КҮРДЕЛІ ЖҮКТЕМЕЛЕРГЕ ҚАУІПСІЗДІК КЕДЕРГІЛЕРІНІҢ ЖҮК КӨТЕРГІШ ЖӘНЕ СОЗҒЫШ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

*Б. Тұрдәлі*

Халықаралық көлік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz)

**Тұрдәлі Берік** — аға оқытушысы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-1575-4975>.

© Б. Тұрдәлі

**Аннотация.** Қазіргі замандағы арқан және жіп конструкциялары құрылыс, машина жасау және инженерлік жүйелерде кеңінен қолданылады, себебі олардың беріктігі жоғары, салмағы аз және айтарлықтай созылу күштерін көтере алады. Алайда, икемді элементтердің серпімді тіректердегі кернеу-деформация жағдайын дәл анықтау қиын мәселе болып табылады, әсіресе біріктірілген жүктемелер мен алдын ала тартылған жағдайда. Зерттеудің мақсаты — алдын ала тарту, тіректердің серпімді сіңірілуін және әртүрлі жүктеу түрлерін ескере отырып, өте тегіс жіптерді есептеудің әмбебап әдісін жасау. Бес есептеу схемасы қарастырылған, күштерді, иілу бұрыштарын, моменттерді және жіп ұзындығын анықтауға аналитикалық тәуелділіктер алынған, сондай-ақ эксперименттік деректермен салыстырылған. Ұсынылған әдіс жоғары дәлдік береді: біркелкі жүктеме жағдайында иілу қателігі 0,3 %-дан аспайды, шоғырланған жүктемеде — 9,3 %-ға дейін; серпінді күштердің қателігі тиісінше 9,63 % және 6 %-ға жетеді. Шоғырланған күш әсерінде конструкцияның сенімділік моделі әзірленген, бұл рұқсат етілген жүктемелерді және шекті жағдайларды анықтауға мүмкіндік береді. Әдіс арқан жүйелерін, ілулі конструкцияларды және машина жасау элементтерін жобалау кезінде қолданылуы мүмкін және кеңістіктік жүйелер мен динамикалық әсерлер бойынша әрі қарайғы зерттеулердің негізі болып табылады.

**Түйін сөздер:** икемді жіптер, серпімді тіректер, алдын ала тарту, шоғырланған жүктеме, иілу, сенімділік моделі

**Дәйексөздер үшін:** Б. Тұрдәлі. Күрделі жүктемелерге қауіпсіздік кедергілерінің жүк көтергіш және созығыш элементтерін есептеу әдістемесі//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 83. 110–120 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.008>

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

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩИХ И РАСТЯЖИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БАРЬЕРОВ БЕЗОПАСНОСТИ НА СЛОЖНЫЕ ЗАГРУЖЕНИЯ

*Б. Тұрдәлі*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.  
[turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz)

**Тұрдәлі Берік** — Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан  
E-mail: [turdali.berik@mtgu.edu.kz](mailto:turdali.berik@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-1575-4975>.

© Б. Тұрдәлі

**Аннотация.** Современные тросовые и нитевые конструкции широко применяются в строительстве, машиностроении и инженерных системах благодаря высокой прочности, малому весу и способности воспринимать значительные растягивающие усилия. Однако точное определение напряжённо-деформированного состояния гибких элементов на упругих опорах остаётся сложной задачей, особенно при комбинированных нагрузках и предварительном натяжении. Цель исследования заключается в разработке универсального метода расчёта очень пологих нитей с учётом предварительного натяжения, упругих осадок опор и различных типов нагружения. В работе рассмотрены пять расчётных схем, получены аналитические зависимости для определения усилий, прогибов, моментов и длины нити, а также выполнено сравнение с экспериментальными данными. Предложенный метод обеспечивает высокую точность результатов: погрешность определения провесов при равномерной нагрузке не превышает 0,3 %, при сосредоточенной — до 9,3 %, а погрешность распорных усилий — до 9,63 % и 6 % соответственно. Разработана модель надёжности конструкции при действии сосредоточенной силы, позволяющая определять

допустимые нагрузки и предельные состояния. Предложенный метод может применяться при проектировании тросовых систем, подвесных конструкций и элементов машиностроительных механизмов, а также служит основой для дальнейших исследований по пространственным системам и динамическим воздействиям.

**Ключевые слова:** гибкие нити, упругие опоры, предварительное натяжение, сосредоточенная нагрузка, прогиб, модель надёжности

**Для цитирования:** Б. Тұрдәлі. Методика расчета несущих и растяжительных элементов барьеров безопасности на сложные загрузки//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 83. Стр. 110–120. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.83.03.008>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Современные тросовые и нитевые конструкции находят широкое применение в строительстве, машиностроении и инженерных системах благодаря своей высокой прочности, малому весу и способности воспринимать значительные растягивающие усилия. Однако точное определение напряжённо-деформированного состояния гибких элементов, опирающихся на упругие опоры, остаётся сложной задачей, особенно при действии комбинированных нагрузок и предварительном натяжении.

Существующие методы расчёта, как правило, либо ограничиваются линейными приближениями, либо требуют значительных вычислительных затрат при численном моделировании. В связи с этим актуальной является разработка аналитически обоснованного и достаточно простого метода, обеспечивающего высокую точность результатов при расчёте гибких нитей на упругих опорах. Практическая значимость темы обусловлена необходимостью повышения надёжности тросовых систем и оптимизации их проектирования.

Цель исследования заключается в разработке и обосновании универсального метода расчёта очень пологих нитей с учётом предварительного натяжения, упругих осадок опор и различных типов нагружения.

Объект исследования — гибкие нити и тросовые элементы, закреплённые на упругих опорах. Предмет исследования — напряжённо-деформированное состояние и расчёт усилий, моментов и перемещений гибких нитей под различными нагрузками.

Задачи исследования включают:

- анализ существующих методов расчёта гибких нитей на упругих опорах и выявление их ограничений;
- разработка расчётных схем для различных типов предварительного натяжения и нагрузок;
- получение аналитических зависимостей для определения усилий, моментов и прогибов;
- сравнение результатов расчёта с экспериментальными данными;
- разработка модели надёжности конструкции в виде гибкой нити при действии сосредоточенных и распределённых нагрузок.

Предлагаемый способ расчёта очень пологих нитей на упругооседающих опорах разработан впервые. Он отличается простотой, удобством для проектирования и обеспечивает высокую точность определения усилий и перемещений: погрешность в определении провесов при равномерно распределённой нагрузке не превышает 0,3 %, при сосредоточенной нагрузке — до 9,3 %, а погрешность в определении распорных усилий составляет до 9,63 % и 6 % соответственно. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании тросовых систем и анализе их надёжности.

## Материалы и методы

Объектом исследования являются гибкие нити и тросовые элементы, закреплённые на упругих опорах, используемые в строительных и машиностроительных конструкциях. В качественном отношении материал включает различные типы нитей и тросов с предварительным натяжением, различной жёсткостью и длиной. В количественном отношении проведено моделирование и расчёт для пяти расчётных схем, включающих:

- нити с предварительным натяжением и распорными усилиями;
- растяжимые нити под собственной массой;
- ненапряжённые нити под равномерной нагрузкой;
- предварительно напряжённые нити под равномерной нагрузкой;
- нити под сосредоточенной нагрузкой.

Для проверки точности расчётов использовались экспериментальные данные по прогибам и распорным усилиям нитей, полученные из опубликованных исследований (Лилеев, 1964: 15; Мацелинский, 1950: 120; Москалев, 1969: 50; Загорянский, 1963: 35; Ткачев, 1971: 7; Ткачев, 1973: 30; Михайлов, 2002: 145; Илленко, 1965: 50; Панов, Сидоров, 1980: 18; Кузнецов и др., 1985: 40).

Как распределяются усилия и прогибы в гибких нитях на упругих опорах при различных типах нагрузок и предварительном натяжении?

Какая методика расчёта обеспечивает оптимальное соотношение точности и трудоёмкости для инженерного применения?

Каковы допустимые погрешности при использовании аналитических и численных методов расчёта?

Предлагается, что универсальный метод расчёта очень пологих нитей на упругооседающих опорах, учитывающий предварительное натяжение, упругие осадки опор и различные схемы нагрузки, позволяет достоверно определять усилия, моменты и прогибы с погрешностью, не превышающей 10 %, и может быть эффективно использован для проектирования тросовых систем.

Этапы исследования:

- анализ литературных источников и существующих методов расчёта гибких нитей и тросовых конструкций;
- разработка расчётных схем для различных условий нагружения и предварительного натяжения;
- получение аналитических зависимостей для определения усилий, моментов и перемещений;
- сравнение результатов расчёта с экспериментальными данными и оценка точности предложенного метода;
- разработка модели надёжности конструкции с гибкой нитью при действии сосредоточенной и распределённой нагрузки;
- обобщение полученных данных и формулировка выводов по достоверности и практической применимости методов.

Методы исследования:

- Аналитический метод — для вывода зависимостей усилий, прогибов и моментов по заданным расчётным схемам;
- Численный метод (метод последовательных приближений) — для определения натяжения и длины нити при сложных схемах нагружения;
- Графический метод — построение зависимостей  $L(N)L(N)$  для визуального определения усилий по заданной длине нити;
- Сравнительный анализ — проверка точности предложенного метода с экспериментальными данными;

- Математическое моделирование — моделирование напряжённно-деформированного состояния нитей с использованием экспериментальных и расчетных данных;

- Статистическая обработка данных — оценка погрешностей и надёжности расчетных результатов.

Применение вышеописанных методов позволило выявить закономерности распределения усилий, прогибов и моментов, оценить влияние предварительного натяжения и упругости опор, а также подтвердить эффективность предложенного способа расчёта для проектирования и анализа тросовых конструкций.

Современные тросовые и нитевые конструкции широко применяются в строительстве, машиностроении и инженерных системах благодаря их высокой прочности, малому весу и способности воспринимать значительные растягивающие усилия. Однако точное определение напряжённно-деформированного состояния гибких элементов, опирающихся на упругие опоры, представляет собой сложную задачу, особенно при действии комбинированных нагрузок и предварительном натяжении.

Существующие методы расчёта, как правило, либо ограничиваются линейными приближениями, либо требуют значительных вычислительных затрат при численном моделировании. В связи с этим актуальной является разработка аналитически обоснованного и достаточно простого метода, обеспечивающего высокую точность результатов при расчёте гибких нитей на упругих опорах.

Целью настоящей работы является разработка и обоснование универсального метода расчёта очень пологих нитей с учётом предварительного натяжения, упругих осадок опор и различных типов нагружения. В статье рассматриваются пять расчётных схем, приведены основные зависимости для определения усилий, моментов и перемещений, а также выполнено сравнение с экспериментальными данными. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании тросовых систем и анализе их надёжности.

### Результаты и обсуждения

Несущими элементами связывающих подвижных блоков из триады между собой является три троса концы верхнего троса закреплены шарнирно на стойке. Расчетная схема может быть предложена в виде нити с часто расположенным и упругими опорами при различных схемах загрузки (Рис. 1) (Лилеев, 1964: 100–150; Ткачев, 1973: 28–36).

Схема 1. Предварительное натяжение нити и усилиям в виде распора. Усилие  $H_{np}$  выпрямляет нити и растяжение в упругих опорах, заменяемое нагрузкой  $q_{np}=f(x)$ . В сечении  $x$  имеем  $y_x=f_x - M_x / H_{np}$ , где  $y_x=q_x \Delta_b a$ ;  $q_{xnp}$  – интенсивность нагрузки  $q_{np}$  в сечении  $x$ ;  $a$  – шаг упругих опор;  $M_x$  – «балочный» момент от нагрузки  $q_{np}$ ;  $\Delta_b - f_x$  коэффициент упругой податливости анкерных опор.

Интенсивность нагрузки определяется из равенства

$$q_{0np} \Delta_b a = f_0 - \frac{q_{0np} l^2 \bar{M}_0}{H_{np}}, \quad \bar{M}_0 = \int_{\varepsilon=0.5} d\varepsilon \int \bar{q}_\varepsilon d\varepsilon; \quad \varepsilon = \frac{x}{l}. \quad (1)$$

Закон изменения нагрузки  $q_{np}$  находим из уравнения

$$\bar{q}_\varepsilon - \frac{A(\varepsilon) l^2}{B_1} \int_{\varepsilon=0,5} d\varepsilon \int \bar{q}_\varepsilon d\varepsilon + \frac{l^2}{B_1} \int_{\varepsilon} d\varepsilon \int \bar{q}_\varepsilon d\varepsilon = A(\varepsilon), \quad (2)$$

где  $A(\varepsilon) = 4\varepsilon(1 - \varepsilon)$ ;  $B_1 = H_{np} \Delta_b a$ ;  $n = 2 \div 50$ ;  $\xi = 0.5$ .  $\bar{q}_\varepsilon = \frac{(n+1)}{(n+0.5\varepsilon^{-1})}$

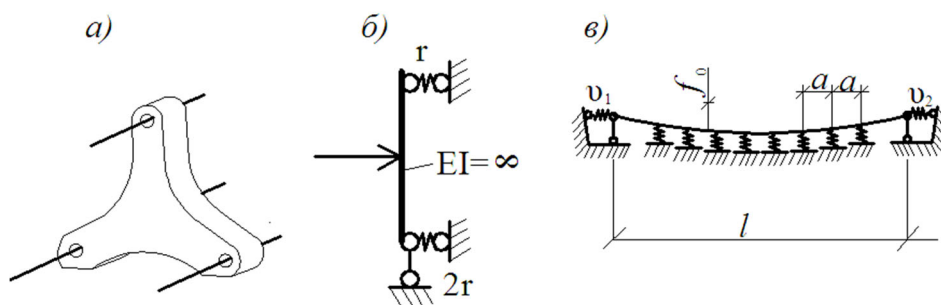


Рис.1. Элементы и схемы отражения

а – несущий элемент - триада; б – группа блоков в виде балок на упругих опорах; расчетная схема несущей (приведенный) нити на упругих опорах.

Таблица 1 - Расчётные коэффициенты для определения усилий и прогибов нити

n	$\bar{q}_{\varepsilon=0.25}$	$\bar{M}_{\varepsilon=0.25}$	$\bar{M}_{max}$	$\bar{D}$
2	0.75000	0.073013	0.10292	0.06550
3	0.80000	0.076853	0.10691	0.06870
4	0.83333	0.079393	0.10956	0.07060
5	0.85714	0.081288	0.11150	0.071839
10	0.91667	0.085970	0.11659	0.074148
15	0.94117	0.088010	0.11880	0.075192
20	0.95454	0.089295	0.12014	0.076142
25	0.96296	0.089981	0.12095	0.077254
30	0.96875	0.090520	0.12154	0.078009
35	0.97297	0.090910	0.12196	0.078620
40	0.97619	0.091250	0.12231	0.079122

Таблица 2 - Расчётные коэффициенты для закона изменения нагрузки по длине пролёта

$\eta$	$\bar{M}$	$\bar{D}$
0.05	0.007920	0.00440
0.10	0.015000	0.00519
0.15	0.021250	0.00589
0.20	0.026667	0.00650
0.25	0.031300	0.00701
0.30	0.035000	0.00747
0.35	0.037920	0.00775
0.40	0.040000	0.00802
0.45	0.041250	0.00815
0.50	0.041667	0.00818

В табл. 1 для некоторых значений n приведены величины

$\bar{q}_{\varepsilon}$ ,  $\bar{M}_{\varepsilon}$  (при  $\varepsilon = 0.25$ ),  $\bar{M}_{max}$  и характеристики нагрузки по (Мацелинский, 1950: 135–167)  $D = \int \bar{Q}^2 d\varepsilon$

для полученной схемы нагружения нити.

При расчете по схеме 1 величина подъема упругих опор получается несколько завышенной.

Схема 2. Предварительное натяжение весомой растяжимой нити.

В исходном положении нить растянута собственной массой  $q_c$ , усилия в упругих опорах отсутствуют. Распор и исходная длина нити (Лилеев, 1964: 100–150)

$$H_c = q_c l^2 / 8f_0; l_n = (l - H_c \nu + 8f_0^2 / 3l)(1 + H_c / EF)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\nu$  – податливость концевых опор нити,  $EF$  – жесткость нити.

После натяжения распор увеличится до  $H = H_c + H_{np}$ , а длина нити уменьшится до

$$l_1 = \frac{l-Hv+D_{оп}/2H^2}{1+H/EF}; D_{оп} = \int_0^l Q_{оп}^2 dx = 2 q_0^2 l^3 \int_{\xi=0}^{\xi=0.5} d\xi (\int \bar{q}_\xi d\xi)^2,$$

$q_0$  и  $\bar{q}_\xi$  применяются соответственно по (1) и (2) с заменой  $H_{пр}$  на  $H$ .

Схема 3. Ненапряженная нить под нагрузкой  $q=const$ .

Для сечения в середине пролета имеем

$$q_{0\text{оп}} \Delta_b a = \frac{M_{0q}}{H - f_0}, \tag{4}$$

Где – максимальная ордината заменяющей нагрузки  $q_{0\text{оп}}$ ;  $M_{0q}$  – «балочный» момент от действия нагрузок  $q$  и  $q_{\text{оп}}$ :

$$M_{0q} = \frac{ql^2}{8} - q_{0\text{оп}} l^2 \bar{M}_0 \tag{5}$$

где  $\bar{M}_0$  – момент от нагрузки  $q_{\text{оп}}$  при  $q_{\text{оп}} = 1$  и  $l = 1$ .

Подставляя (5) в (4), получим  $q_{0\text{оп}} = (ql^2 - 8f_0H)/8(H\Delta_b a + l^2\bar{M}_0)$ .

Закон изменения  $q_{\text{оп}}$  находим из уравнения (2) при  $H_{пр} = H$ .

Распор  $H$  находим из совместного решения уравнения (7) и

$$H^3 \left( \frac{l_u}{EF} + v \right) + H^2(l_u - l) = 0.5(D_q - q_{0\text{оп}}^2 l^3 \bar{D}). \tag{6}$$

Здесь  $D_q = q^2 l^3 / 12$  (Мацелинский, 1950: 135–167)  $\bar{D}$  определяется по табл. 1.

После стабилизации осадки упругих опор нить превращается в многопролетную, предварительно – напряженную усилием  $H$ .

Схема 4. Предварительно – напряженная нить под нагрузкой  $q=const$ .

Рассмотрим два случая:

а)  $q=q_1 < 8f_0H_{пр}/l^2$ . Нить под нагрузкой  $q$  не возвращается в исходное положение, и расчет ведем по схеме 2 с заменой  $q_c$  на  $q_1 + q_c$ ;

б)  $q=q_2 > q_{пр} = 8f_0H_{пр}/l^2$ . Расчет проводится по схеме 3 с заменой  $q$  на  $q_2 + q_{пр}$

Исходная длина нити определяется по формуле (3) с заменой  $H_c$  на  $H_c + H_{пр}$

Схема 5. Сосредоточенная нагрузка в пролете предварительно - напряженной нити.

По аналогии со схемой 3 находим  $q_{\eta\text{оп}}$  в сечении  $x=\eta l$  под силой  $P$ .

$$q_{\eta\text{оп}} \Delta_b a = (M_{\eta\text{пр}} + M_{\eta P} - M_{\eta\text{оп}}) / H - f_\eta, \tag{7}$$

где  $M_{\eta P} = Pl\eta(1 - \eta)$ ;  $M_{\eta\text{оп}} = q_{\eta\text{оп}} l^2 \bar{M}_\eta$ ;  $f_\eta = 4f_0\eta(1 - \eta)$ ;  $M_{\eta\text{пр}} = 0,5q_{\text{оп}} l^2 (1 - \eta)$ ; при определении  $q_{\text{оп}}$  для весомой нити нужно учитывать собственный вес.

Из (7) определяем

$$q_{\eta\text{оп}} = \eta(1 - \eta)(q_{\text{оп}} l^2 + 2Pl - 8f_0H) / 2(H\Delta_b a + l^2 \bar{M}_{\eta\text{оп}})$$

Правая часть уравнения (6) в этом случае имеет вид

$$l^3 [q_{\text{оп}}^2 + 12P\eta(1 - \eta)(P + q_{\text{оп}} l) l^{-2} - 12q_{\eta\text{оп}}^2 \bar{D}] / 24.$$

Закон изменения заменяющей нагрузки  $\bar{q}_\xi$  находим из совместного решения уравнений (2) и (6). Коэффициенты  $A(\xi)$  и  $B_1$  в уравнении (2) принимают вид

$$A(\xi) = \frac{2Pl\xi(1-\eta) + q_{\text{оп}} l^2 \xi(1-\xi) - 8f_0H\xi(1-\xi)}{\eta(1-\eta)(2Pl + q_{\text{оп}} l^2 - 8f_0H)}; B_1 = H\Delta_b a. \tag{8}$$

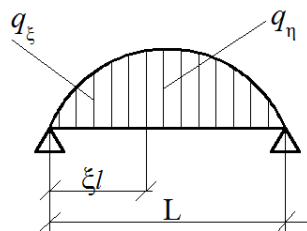


Рис. 2. Схема распределения переменной нагрузки вдоль пролёта нити

Для нагрузки (Рис 2), изменяющейся по закону  $q_\xi = q_0(n+1)/(n+0.5\xi^{-1})$  значения характеристики нагрузки и балочного момента определяем по формулам

$$D = q_0^2 l^3 [n^3 - 3n(1.5n + 2B - 1) + 3(B + B)(2n + B - B - 1)] \frac{(n+1)^2}{12n^5};$$

$$M_\xi = q_0 l^2 \left[ \left( \xi + \frac{1}{2n} \right) \ln \left( \xi + \frac{1}{2n} \right) - n\xi^2 - \xi(B + B - n + 1) - B/2n \right] (n+1)/2n^2$$

$$M_{\xi=0.5} = q_0 l^2 (0.5n^2 - n + B)(n+1)/4n^3; B = \ln(1/2n); B = \ln(n+1)/2n^2. \quad (9)$$

Для нагрузки, изменяющейся по закону (рис 3),  $q_\xi = q_\eta [1 - \sqrt{1 - (\xi/\eta)^2}]$  при  $\xi \leq \eta$ , имеем  $D_\eta = \bar{D} q_\eta^2 l^3$ ;  $M_\eta = 0.1667\eta(1 - \eta)q_\eta l^2 = \bar{M} q_\eta l^2$  Значения  $\bar{M}$  и  $\bar{D}$  для различных значений  $\eta$  приведены в табл. 2

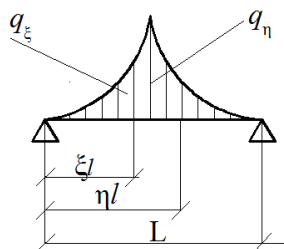


Рис. 3. Схема нагружения нити по заданному закону изменения интенсивности

Предлагаемый способ расчета очень пологих нитей на упругооседающих опорах разработан, по видимому, впервые. Способ нетрудоемок, удобен для проектирования конструкций с применением нитей на упругих опорах (Москалев, Чекалев, 1969: 45–52; Загорянский, 1963: 33–42; Ткачев, 1971: 3–4), дает однозначные значения усилий и перемещений, хорошо совпадающие с экспериментальными данными: так, погрешность в определении провесов при равномерно распределенной нагрузке составляет не более 0,3 %, при сосредоточенной нагрузке до 9,3 %, в определении распоров при равномерно распределенной нагрузке до 9,63 %, при сосредоточенной нагрузке до 6 %.

Рассмотрим расчет нити закрепленные на шарнирные неподвижные опоры. При решении задачи по второму варианту, когда задана длина нити  $L$  и требуется найти  $H$ , решение строится методом последовательных приближений. Сначала задаются произвольным значением  $H = H_{(1)}$  и находят соответствующую этому значению  $L_{(1)}$ . Если  $L_{(1)} < L$ , то выбирают второе приближение:  $H_{(2)} < H_{(1)}$ , и расчет повторяется. Задачу можно решить графическим способом, построив зависимость  $L(H)$  и определив значение  $H$  для заданной величины  $L$ .

В простейших случаях зависимость  $L(H)$  может быть найдена аналитически.

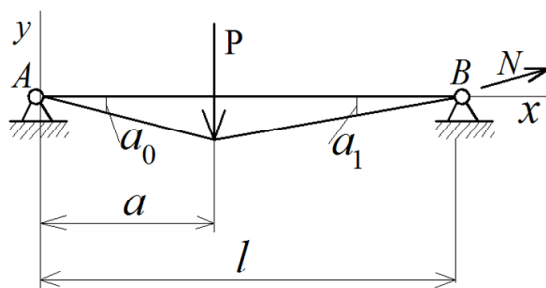


Рис.4. Модель надежности для нити под действием сосредоточенной силы

Пример построения модели надежности. Требуется разработать модель надежности для конструкции в виде гибкой нити при действии сосредоточенной силы (Рис 4).

Из уравнений при  $P_2 = 0$  и  $c = 0$  находим

$$tg\alpha_0 = -\frac{P(l-a)}{Hl}, \quad tg\alpha_1 = -\frac{Pa}{Hl}.$$

Наибольший прогиб нити составит

$$y(a) = tg\alpha_0 a = -\frac{P(l-a)a}{Hl}. \quad (10)$$

Натяжение нити будет равно

$$N(x) = N_0 = H\sqrt{1 + \frac{P^2}{H^2}\left(\frac{l-a}{l}\right)^2} \quad \text{при } 0 \leq x < a,$$

$$N(x) = N_1 = H\sqrt{1 + \frac{P^2 a^2}{H^2 l^2}} \quad \text{при } 0 \leq x < l, \quad (11)$$

Длина нити по формуле составляет

$$L = a\sqrt{1 + \frac{P^2(l-a)^2}{H^2 l^2}} + (l-a)\sqrt{1 + \frac{P^2 a^2}{H^2 l^2}} \quad (12)$$

Проведем анализ для наиболее неблагоприятного случая, когда сила приложена в середине пролета. При  $a = l/2$  получаем

$$L = l\sqrt{1 + \frac{1}{4}\frac{P^2}{H^2}} \quad (13)$$

Из последнего равенства получаем зависимость горизонтального натяжения от длины нити

$$H = P\frac{1}{2\sqrt{L^2/l^2 - 1}}. \quad (14)$$

Натяжение нити при  $a = l/2$  будет таким:

$$N = H\sqrt{1 + \frac{P^2}{4H^2}} = H\frac{L}{l}. \quad (15)$$

Модель надежности принимаем по допускаемому напряжению

$$\sigma_{max} = \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad (16)$$

где  $F$  – площадь сечения нити.

Наибольшая допустимая нагрузка на нить

$$P \leq [\sigma]F2\sqrt{1 - l^2/L^2}. \quad (17)$$

Из модели надежности следует, что при  $L \rightarrow l$  допустимое значение  $P \rightarrow 0$ . Это становится понятным, если учесть равенство (16). При  $L = l$  в нити возникают бесконечно большие напряжения.

### Заключение

В представленной работе выполнено комплексное исследование напряжённо-деформированного состояния очень пологих гибких нитей и тросовых элементов, опирающихся на упругооседающие опоры, при различных схемах нагружения и условиях предварительного натяжения. Актуальность выбранной темы обусловлена широким применением тросовых и нитевых конструкций в строительстве, машиностроении и инженерных системах, а также недостаточной разработанностью аналитических методов их расчёта с учётом упругости опор и комбинированных нагрузок.

Поставленная цель исследования — разработка и обоснование универсального метода расчёта очень пологих нитей с учётом предварительного натяжения, упругих осадок опор и различных типов нагружения — была достигнута в полном объёме. Для её реализации применён комплекс взаимодополняющих методов исследования: аналитический, численный, графический, методы математического моделирования, сравнительного анализа и статистической обработки данных.

Аналитический метод позволил получить замкнутые зависимости для определения усилий, прогибов, моментов и длины нити при различных расчётных схемах. Метод последовательных приближений и графический метод использовались для решения обратных задач, в частности при определении усилий по заданной длине нити. Математическое моделирование и сравнительный анализ обеспечили проверку

достоверности предложенных зависимостей путём сопоставления расчётных данных с экспериментальными результатами, опубликованными в трудах отечественных и зарубежных исследователей.

Таким образом, выбранная методология исследования является обоснованной, адекватной поставленным задачам и обеспечивает получение достоверных и воспроизводимых результатов.

В ходе работы разработан и систематизирован универсальный способ расчёта очень пологих нитей на упругооседающих опорах, применимый для пяти основных расчётных схем:

- нити с предварительным натяжением и распорными усилиями;
- растяжимые нити под действием собственной массы;
- ненапряжённые нити под равномерно распределённой нагрузкой;
- предварительно напряжённые нити под равномерной нагрузкой;
- нити под действием сосредоточенной нагрузки.

Для каждой схемы получены аналитические зависимости, позволяющие определять усилия, прогибы, длину нити и характеристики заменяющих нагрузок с учётом упругих свойств опор. Показано, что использование модели нити с часто расположенными упругими опорами позволяет адекватно описывать реальную работу тросовых систем и существенно упрощает расчёт без значительной потери точности.

Сравнение результатов расчёта с экспериментальными данными показало высокую степень их согласованности. Установлено, что погрешность определения провесов при равномерно распределённой нагрузке не превышает 0,3%, при сосредоточенной нагрузке — до 9,3 %, а погрешность определения распорных усилий составляет до 9,63% и 6% соответственно. Эти значения находятся в допустимых пределах для инженерных расчётов и подтверждают достоверность и практическую применимость предложенного метода.

Важным результатом работы является разработка модели надёжности конструкции в виде гибкой нити при действии сосредоточенной силы. Получены зависимости, позволяющие определять допустимые нагрузки по критерию допускаемых напряжений, а также выявлены предельные состояния, при которых происходит резкий рост напряжений в нити. Это расширяет возможности оценки безопасности и надёжности тросовых систем на стадии проектирования.

На основании выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

Существующие методы расчёта гибких нитей на упругих опорах либо ограничены линейными приближениями, либо отличаются высокой вычислительной трудоёмкостью, что снижает их эффективность при инженерном применении.

Предложенный универсальный метод расчёта очень пологих нитей позволяет учитывать предварительное натяжение, упругие осадки опор и различные схемы нагружения в рамках единого аналитического подхода.

Полученные аналитические зависимости обеспечивают однозначное определение усилий, прогибов и перемещений и хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Разработанная модель надёжности позволяет оценивать предельные состояния гибких нитей и определять допустимые нагрузки с учётом геометрических и силовых параметров системы.

Точность предложенного метода не превышает 10 % по основным расчётным параметрам, что делает его пригодным для практического использования при проектировании тросовых и нитевых конструкций.

Тем самым подтверждена истинность выдвинутого в работе утверждения о возможности создания аналитически обоснованного, достаточно простого и точного метода расчёта очень пологих нитей на упругооседающих опорах.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в возможности применения полученных зависимостей и расчётных схем при проектировании тросовых

систем, вантовых покрытий, подвесных конструкций и элементов машиностроительных механизмов. Метод может быть использован в инженерной практике, учебном процессе, а также при разработке нормативных и методических документов.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением предложенной методики на пространственные тросовые системы, учётом нелинейных свойств материалов, ползучести, температурных воздействий и динамических нагрузок. Кроме того, представляется целесообразным развитие численно-аналитических подходов на основе предложенной модели для автоматизации расчётов и интеграции их в современные программные комплексы.

В целом, полученные результаты вносят вклад в развитие строительной механики и теории гибких элементов, уточняя существующие представления о работе нитей и тросов на упругих опорах и расширяя инструментарий инженерного расчёта.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Илленко, 1965 — Илленко К.И. К расчету заанкерных балок и опрокинутых арок // Строительная механика и расчет сооружений. — 1965. — № 6. — С. 47–55. [Russ.]
- Кузнецов, 1985 — Кузнецов А.А. Математическое моделирование поведения гибких нитей на упругих опорах // Строительная механика и расчет сооружений. — 1985. — № 2. — С. 34–45. [Russ.]
- Лилеев, 1964 — Лилеев А.Ф., Селезнева Е.Н. Методы расчета пространственных вантовых систем. — М.: Стройиздат. — 1964. — 280 с. [Russ.]
- Мацелинский, 1950 — Мацелинский Р.Н. Статический расчет гибких висячих конструкций. — М.: Стройиздат. — 1950. — 320 с. [Russ.]
- Москалев, 1969 — Москалев Н.С., Чекалев Л.П. Статический расчет ванто-балочных сеток // Строительная механика и расчет сооружений. — 1969. — № 4. — С. 45–52. [Russ.]
- Михайлов, 2002 — Михайлов В.В. Предварительно напряженные комбинированные и вантовые конструкции. — М.: АСВ. — 2002. — 256 с. [Russ.]
- Загорянский, 1963 — Загорянский Л.А. Практический способ расчета предварительно-напряженных канатно-балочных сеток // Известия Академии строительства и архитектуры СССР. — 1963. — № 2. — С. 33–42. [Russ.]
- Ткачев, 1971 — Ткачев В.Я. Висячее покрытие. — Авторское свидетельство. — 1971. — № 318666. — 12 с. [Russ.]
- Ткачев, 1973 — Ткачев В.Я. Расчет очень пологой нити на упругооседающих опорах // Строительная механика и расчет сооружений. — 1973. — № 3. — С. 28–36. [Russ.]
- Панов, 1980 — Панов В.Н., Сидоров А.И. Расчет гибких элементов с предварительным натяжением // Вестник строительной механики. — 1980. — № 5. — С. 12–22. [Russ.]

#### REFERENCES

- Kuznetsov, 1985 — Kuznetsov, A.A. (1985). Matematicheskoe modelirovanie povedeniya gibkikh nitey na upryikh oporakh // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [Mathematical Modeling of Flexible Cables Behavior on Elastic Supports // Construction Mechanics and Structures Analysis]. — 1985. — № 2. — Pp. 34–45. [Russ.]
- Lileev, 1964 — Lileev, A.F., Selezneva, E.N. (1964). Metody rascheta prostranstvennykh vantovykh sistem [Methods of Calculation of Spatial Cable-Stayed Systems]. — Moscow: Stroyizdat. — 1964. — 280 p. [Russ.]
- Matselinsky, 1950 — Matselinsky, R.N. (1950). Sticheskiy raschet gibkikh visyashchikh konstruksii [Static Analysis of Flexible Hanging Structures]. — Moscow: Stroyizdat. — 1950. — 320 p. [Russ.]
- Moskalev, 1969 — Moskalev, N.S., Chekalev, L.P. (1969). Sticheskiy raschet vanto-balochnykh setok // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [Static Analysis of Cable-Beam Grids // Construction Mechanics and Structures Analysis]. — 1969. — № 4. — Pp. 45–52. [Russ.]
- Mikhailov, 2002 — Mikhailov, V.V. (2002). Predvaritel'no napryazhennye kombinirovannye i vantovye konstruksii [Pre-Stressed Combined and Cable-Stayed Structures]. — Moscow: ASV. — 2002. — 256 p. [Russ.]
- Tkachev, 1971 — Tkachev, V.Ya. (1971). Visyashchee pokrytie [Hanging Roof]. — Author's certificate. — 1971. — № 318666. — 12 p. [Russ.]
- Tkachev, 1973 — Tkachev, V.Ya. (1973). Raschet ochen' prologoi niti na uprygoosedayushchikh oporakh // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [Calculation of a Very Shallow Cable on Elastic-Settling Supports // Construction Mechanics and Structures Analysis]. — 1973. — № 3. — Pp. 28–36. [Russ.]
- Illenko, 1965 — Illenko, K.I. (1965). K raschetu zaankernykh balok i oprokinutykh arok // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii [On the Calculation of Anchored Beams and Inverted Arches // Construction Mechanics and Structures Analysis]. — 1965. — № 6. — Pp. 47–55. [Russ.]
- Panov, 1980 — Panov, V.N., Sidorov, A.I. (1964). Raschet gibkikh elementov s predvaritel'nym natiazheniem // Vestnik stroitel'noy mekhaniki [Calculation of Flexible Elements with Pre-Tension // Bulletin of Structural Mechanics]. — 1980. — № 5. — Pp. 12–22. [Russ.]
- Zagoryansky, L.A., 1963 — Zagoryansky, L.A. (1963). Prakticheskiy sposob rascheta predvaritel'no-napryazhennykh kanatno-balochnykh setok // Izvestiya Akademii stroitel'stva i arkhitektury SSSR [Practical Method for Calculating Pre-Stressed Rope-Beam Grids // Proceedings of the Academy of Construction and Architecture of the USSR]. — 1963. — № 2. — Pp. 33–42. [Russ.]

**ҚАЗАҚСТАН ӨНДІРІС КӨЛІГІ**  
**ПРОМЫШЛЕННЫЙ ТРАНСПОРТ**  
**КАЗАХСТАНА**

**INDUSTRIAL TRANSPORT**  
**OF KAZAKHSTAN**

Правила оформления статьи для публикации в журнале на сайте:  
<http://prom.mtgu.edu.kz>

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

**Собственник:**

Международный транспортно-гуманитарный университет  
(Казахстан, г.Алматы).

**ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР**  
Мылтыкбаева Айгуль Тауарбековна

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ВЕРСТКА**  
Букина Светлана Владимировна

Подписано в печать 15.09.2024. Формат 60x84 1/8 . Бумага офсет №1. Гарнитура «Таймс» .  
Печать RISO. Объем 15,1 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.