

**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 №1(81)**

*январь-март*

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

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

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

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

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

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

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

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

---

**«Қазақстан өндіріс көлігі» журналы**

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

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

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

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

**Мерзімділігі:** жылына 4 рет.

**Тираж:** 500 дана.

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

Кон. Тел.: 8 (727) 376-74-78.

E-mail: info@mtgu.edu.kz

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

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

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

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

---

**Журнал «Промышленный транспорт Казахстана»**

ISSN: 1814-5787 (print)

ISSN: 3006-0273 (online)

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

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

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

**Периодичность:** 4 раза в год.

**Тираж:** 500 экземпляров.

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

E-mail: info@mtgu.edu.kz

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

**EDITOR-IN-CHIEF:**

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

**EDITORIAL BOARD:**

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

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

**Akhmetov Bakhytzhhan 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. Amrina</b> ANALYSIS OF MOBILE APPLICATION USER PREFERENCES BASED ON MACHINE LEARNING METHODS	7
<b>N. Kamzanov</b> NEW METHODS FOR DETERMINING AND RESTORING THE EVENNESS OF HIGHWAYS	20
<b>A. Oralbekova, A. Turdaliev, V. Wojcik</b> CREATION OF A CONCEPTUAL MODEL OF AUTOMATED SELF-LEARNING SYSTEM OF FUNCTIONAL CONTROL AND DETECTION OF RAILWAY TRANSPORT	33
<b>S. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova</b> GENERAL PRINCIPLES OF SYNTHESIS OF THE ALGORITHMIC STRUCTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS	48

### COMPUTER ENGINEERING AND INFORMATION SYSTEMS

<b>Y. Askarov, A. Karpov</b> INCREASING THE SPEED OF FREIGHT WAGON BOGIE EXCHANGE AT DOSTYK STATION THROUGH THE USE OF A TURNTABLE	63
<b>K. Bakirov, Sh. Baysugirova</b> INFLUENCE OF REINFORCEMENT TYPE ON CONCRETE STRENGTH	78
<b>S. Sultangazinov, S. Tanatarov, M. Orynbayev, S. Umoh</b> DIAGNOSTICS OF UPPER AND LOWER AUTOMATION AND TELEMCHANICS SYSTEMS IN RAILWAY TRANSPORT	88

## МАЗМҰНЫ

### ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ ЖӘНЕ КӨЛІКТІ АВТОМАТТАНДЫРУ

<b>Д. Амрина</b> МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАЛАР ПАЙДАЛАНУШЫЛАРЫНЫҢ ҚАЛАУЛАРЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ	7
<b>Н. Камзанов</b> АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫНЫҢ ТЕГІСТІГІН АНЫҚТАУДЫҢ ЖӘНЕ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІҢ ЖАҢА ӘДІСТЕРІ	20
<b>А. Оралбекова, Ә. Турдалиев, В. Войцик</b> ТЕМІРЖОЛ ТРАНСПОРТЫН ФУНКЦИОНАЛДЫ БАҚЫЛАУ МЕН АНЫҚТАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ӨЗІН-ӨЗІ ОҚЫТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ	33
<b>С. Султангазинов, Б. Тerekbaev, М. Орынбеков, А. Туребекова</b> АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ АЛГОРИТМДІК ҚҰРЫЛЫМ СИНТЕЗІНІҢ ЖАЛПЫ ҚАҒИДАЛАРЫ	48

### ЕСЕПТЕУ ТЕХНИКАСЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР

<b>Е. Аскарлов, А. Карпов</b> ДОСТЫҚ СТАНЦИЯСЫНДА ЖҮК ВАГОНДАРЫНЫҢ ТЕЛЕЖКЕЛЕРІН АУЫСТЫРУ ҮДЕРІСІНІҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН АЙНАЛМАЛЫ ДӨҢГЕЛЕКТІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ	63
<b>К. Бакиров, Ш. Байсугирова</b> БЕТОН БЕРІКТІГІНІҢ АРМАТУРАЛАУ ТҮРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ	78
<b>С. Султангазинов, С. Танатаров, М. Орынбаев, С. Умо</b> ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ ТЕЛЕМЕХАНИКА ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ ЖӘНЕ ТӨМЕНГІ ДЕҢГЕЙЛЕРІН ДИАГНОСТИКАЛАУ	88

## СОДЕРЖАНИЕ

---



## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТА

<b>Д. Амрина</b> АНАЛИЗ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	7
<b>Н. Камзанов</b> НОВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	20
<b>А. Оралбекова, А. Турдалиев, В. Войцик</b> КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ САМООБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	33
<b>С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова</b> ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	48

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<b>Е. Аскарлов, А. Карпов</b> УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА СМЕНЫ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА СТАНЦИИ ДОСТЫК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВОРОТНОГО КРУГА	63
<b>К. Бакиров, Ш. Байсугирова</b> ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ОТ ТИПА АРМИРОВАНИЯ	78
<b>С. Султангазинов, С. Танатаров, М. Орынбаев, С. Умо</b> ДИАГНОСТИКА ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО СТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	88

**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. 1. Number 81 (2024). Pp. 7–19  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.001>

**ANALYSIS OF MOBILE APPLICATION USER PREFERENCES BASED ON  
MACHINE LEARNING METHODS**

*D. Amrina\**

International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: [amrina.dana@mtgu.edu.kz](mailto:amrina.dana@mtgu.edu.kz)

**Dana Amrina** — master student, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [amrina.dana@mtgu.edu.kz](mailto:amrina.dana@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8263-1962>.

© D. Amrina

**Abstract.** This study examined classical machine learning methods and neural networks for analyzing user preferences in mobile applications. The target variable and preference criterion was the average app rating. A dataset from the open source Kaggle was used, followed by data cleaning and preprocessing. A comparative analysis was conducted on three classical machine learning methods (linear regression, random forest, XGBoost) and three neural network models (ANN, CNN, RNN) to predict users' average app ratings based on seven features. As the dataset was relatively small and of simple structure, some neural network models could not fully realize their potential. The XGBoost model demonstrated the best performance, highlighting its usefulness for this type of data. The CNN model performed slightly worse, as it is designed to capture significant patterns in complex datasets. The most important features for predicting user ratings were identified, including types, installations, genres, categories, and others. In future work on decision-making tasks aimed at improving user engagement, this study can assist in selecting appropriate models and input features to focus on when designing or enhancing an application.

**Keywords:** rating, application, machine learning, neural networks, prediction, data analysis

**For citation:** D. Amrina. Analysis of mobile application user preferences based on machine learning methods//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 7–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.001>

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

**МОБИЛЬДІ ҚОСЫМШАЛАР ПАЙДАЛАНУШЫЛАРЫНЫҢ ҚАЛАУЛАРЫН  
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ТАЛДАУ**

*Д. Амрина*

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан.  
E-mail: [amrina.dana@mtgu.edu.kz](mailto:amrina.dana@mtgu.edu.kz)



**Дана Амрина** — магистрант, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [amrina.dana@mtgu.edu.kz](mailto:amrina.dana@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8263-1962>.

© Д. Амрина

**Аннотация.** Осы жұмыста мобильді қосымшалардың пайдаланушылардың қалауларын талдау үшін классикалық машиналық оқыту және нейрондық желілер әдістері қарастырылды. Мақсатты көрсеткіш және қалаулар критерийі ретінде қосымшаның орташа рейтингі алынған. Ашық дереккөзі Kaggle-дан алынған датасет қолданылып, деректерді тазалау және алдын ала өңдеу жүргізілді. Орташа пайдаланушы баға көрсеткішін болжау үшін 7 параметр негізінде 3 классикалық машиналық оқыту әдісі (linear regression, random forest, XGBoost) және 3 нейрондық желі моделі (ANN, CNN, RNN) салыстырмалы талдаудан өткізілді. Датасет салыстырмалы түрде шағын және қарапайым құрылымға ие болғандықтан, кейбір нейрондық желі модельдері өз потенциалын толық ашпаған. Ең жақсы нәтижені XGBoost моделі көрсетті, бұл осы деректер түрінде аталған модельдің тиімділігін дәлелдейді. CNN моделі сәл төмен нәтижелер көрсетті, себебі ол күрделі деректердегі маңызды байланыстарды анықтауға арналған. Пайдаланушы рейтингісін болжауда ең маңызды сипаттамалар анықталды: типтер, орнатулар, жанрлар, категориялар және басқа факторлар. Болашақта пайдаланушылардың қатысуын арттыру саласындағы шешім қабылдау тапсырмаларымен жұмыс істегенде, бұл жұмыс тиісті модель мен кіріс сипаттамаларын анықтауға және қосымшаны жасау немесе жетілдіру кезінде назар аударуға көмектеседі.

**Түйін сөздер:** рейтинг, қосымша, машиналық оқыту, нейрондық желілер, болжау, деректерді талдау

**Дәйексөздер үшін:** Д. Амрина. Мобильді қосымшалар пайдаланушыларының қалауларын машиналық оқыту әдістері негізінде талдау//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 7–19 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.001>

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

## АНАЛИЗ ПРЕДПОЧТЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Д. Амрина*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

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

Д. Амрина — магистрант, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [amrina.dana@mtgu.edu.kz](mailto:amrina.dana@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8263-1962>.

© Д. Амрина

**Аннотация.** В данной работе были рассмотрены методы классического машинного обучения и нейронных сетей для анализа предпочтений пользователей мобильных приложений. В качестве целевого значения и критерия предпочтения был взят средний рейтинг приложения. Был использован датасет из открытого источника Kaggle, далее была проведена очистка, предобработка данных. Проведен сравнительный анализ 3 классических методов машинного обучения, среди которых linear regression, random forest, XGBoost, а также 3 модели нейронных сетей, из которых ANN, CNN, RNN, для прогнозирования

средних оценок пользователей приложения исходя из 7 признаков. Так как датасет относительно небольшой с простой структурой данных, некоторые модели нейронных сетей не смогли полностью раскрыть весь свой потенциал. Наилучшую производительность показала модель XGBoost, что показывает пользу данной модели в таком виде данных. Немного хуже показала модель CNN, так как она предназначена для выявления важных зависимостей в сложных данных. Были выявлены наиболее важные признаки, которые больше всего помогли в прогнозировании значения рейтинга пользователей, среди которых типы, установки, жанры, категории, и другие. В будущем, работая с задачей принятий решений в области улучшения вовлеченности пользователей, эта работа поможет в определении подходящей модели и входных признаков, на которые стоит обратить внимание при создании или улучшении приложения.

**Ключевые слова:** рейтинг, приложение, машинное обучение, нейронные сети, прогнозирование, анализ данных.

**Для цитирования:** Д. Амрина. Анализ предпочтения пользователей мобильных приложений на основе методов машинного обучения // *Промышленный транспорт Казахстана*. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 7–19. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.001>

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

## Введение

Современные цифровые системы активно используют методы глубокого обучения для анализа поведения пользователей и прогнозирования их действий (Bell, 2022: 207–216). В последние годы искусственный интеллект становится ключевым инструментом для оптимизации и автоматизации процессов в различных сферах, включая цифровые платформы и мобильные приложения (Sharifani, 2023: 12). Машинное обучение (ML) является одной из областей искусственного интеллекта и позволяет создавать системы, способные самостоятельно обучаться на основе данных без необходимости явного программирования (Sarker, 2021: 160).

Нейроны, как биологическая модель, адаптируют свои связи для предсказания будущей активности и минимизации ошибок, что позволяет оптимизировать обработку информации и повышать эффективность работы системы (Luczak, 2022: 62–72). Подобные принципы используются в ML для анализа поведения пользователя, что помогает выявлять эффективные и неэффективные элементы интерфейса, повышать персонализацию и удовлетворенность пользователей (Dina, 2021: 100462; Sharifani, 2022: 5).

Объектом исследования в данной работе являются цифровые приложения, доступные в Google Play Store, а предметом — механизмы мотивации пользователей через анализ факторов, влияющих на их оценки мобильных приложений (Google Play Store Apps, 2025). Проблемная ситуация заключается в том, что, несмотря на активное применение методов ML для прогнозирования рейтингов приложений, большинство исследований не дают полного понимания взаимосвязей между характеристиками приложений и поведением пользователей (Suleman, 2019: 57).

Актуальность темы определяется как теоретическим, так и практическим интересом к изучению цифровой вовлеченности пользователей. Прогнозирование рейтингов приложений позволяет не только оценить степень удовлетворенности пользователей, но и выявить потенциальные закономерности, которые могут быть использованы для персонализации интерфейсов и улучшения цифрового опыта (Yu, 2022: 26; Taye, 2023: 91).

Целью исследования является анализ предпочтений пользователей мобильных приложений и прогнозирование их рейтинга как показателя вовлеченности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Провести анализ характеристик приложений, таких как категория, тип, контент-рейтинг, количество установок, цена, размер и жанр.

- Разработать модели машинного обучения и глубокого обучения для прогнозирования рейтингов приложений.

- Провести сравнительный анализ различных моделей и выявить наиболее значимые признаки, влияющие на рейтинг.

- Сделать выводы о возможностях персонализации интерфейсов и повышении вовлеченности пользователей на основе анализа данных.

Методы исследования включают использование библиотек TensorFlow и scikit-learn, реализацию нейронных сетей (ANN, CNN, RNN/LSTM), а также классических моделей машинного обучения (Random Forest, XGBoost, линейная регрессия) с оценкой качества моделей через метрики MAE, RMSE и  $R^2$ .

Гипотеза исследования заключается в том, что с помощью моделей глубокого обучения возможно выявить зависимость между характеристиками приложений и рейтингами пользователей, а также определить ключевые факторы, влияющие на вовлеченность пользователей, несмотря на ограниченность и неравномерность данных (Somers & Black, 2025: 056036).

Значение исследования заключается в возможности использования полученных результатов для оптимизации интерфейсов мобильных приложений, разработки персонализированных цифровых решений и повышения удовлетворенности пользователей.

### **Материалы и методы**

В качестве материалов исследования использован открытый набор данных Google Play Store Apps, размещенный на платформе Kaggle (Google Play Store Apps, 2025). Датасет содержит информацию о мобильных приложениях, включая 13 признаков: категорию приложения, тип, контент-рейтинг, количество установок, цену, размер, жанры, дату последнего обновления, версию приложения и ряд других характеристик. После очистки данных от пропусков и аномальных значений в исследование было включено 9366 примеров. Выборка отражает различные категории приложений и разнообразие пользовательских предпочтений, что обеспечивает возможность анализа факторов, влияющих на оценку и вовлеченность пользователей.

Количественная характеристика материала представлена распределением данных по 7 ключевым признакам, использованным в модели регрессии: категория, тип, контент-рейтинг, установки, цена, размер, жанры. Качественный анализ включал проверку достоверности данных, идентификацию выбросов и несоответствий в категории и жанрах, что позволило повысить надежность дальнейших моделей прогнозирования.

Цель и гипотеза исследования. Цель исследования — анализ предпочтений пользователей мобильных приложений и прогнозирование рейтинга приложений как показателя вовлеченности пользователей. Гипотеза исследования заключается в том, что использование моделей глубокого обучения позволяет выявить зависимость между характеристиками приложений и пользовательским рейтингом, а также определить ключевые признаки, влияющие на вовлеченность пользователей (Somers & Black, 2025: 056036).

Вопросы исследования:

- Какие характеристики приложений оказывают наибольшее влияние на пользовательский рейтинг?

- Насколько эффективно модели машинного и глубокого обучения прогнозируют рейтинги приложений?

- Какие методы позволяют улучшить точность предсказания в условиях неравномерного распределения данных?

- Как выявленные закономерности могут быть использованы для персонализации интерфейсов приложений и повышения удовлетворенности пользователей?

Этапы исследования:

- Подготовка данных: очистка, нормализация и кодирование категориальных

признаков.

- Разделение выборки: 80 % данных использованы для обучения моделей, 20 % — для тестирования.

- Разработка моделей: реализованы нейронные сети (ANN, CNN, LSTM) и классические модели машинного обучения (Random Forest, XGBoost, линейная регрессия).

- Обучение и настройка моделей: оптимизация гиперпараметров, использование оптимизатора Adam и функции потерь MSE для нейронных сетей.

- Оценка качества моделей: расчет метрик MAE, RMSE и  $R^2$  для сравнения точности предсказаний.

- Анализ важности признаков: выявление наиболее значимых характеристик приложений для прогнозирования рейтинга.

- Интерпретация результатов: выявление закономерностей, оценка влияния редких и неравномерно распределенных данных на точность моделей.

Методы машинного обучения:

- Линейная регрессия — используется для визуализации зависимостей и первичного анализа данных.

- Random Forest Regressor — баланс между качеством предсказаний и скоростью обучения, выявление важности признаков.

- XGBoost — градиентный бустинг для табличных данных, показавший наилучшую точность прогнозирования.

Методы глубокого обучения:

- ANN (Artificial Neural Network) — полносвязная нейронная сеть для выявления сложных нелинейных зависимостей.

- CNN (Convolutional Neural Network) — использование сверток для выделения локальных особенностей признаков.

- LSTM (Long Short-Term Memory, RNN) — анализ последовательностей признаков для прогнозирования рейтинга.

- Предварительная обработка данных: нормализация числовых признаков, one-hot кодирование категориальных признаков, удаление пропусков и аномалий.

- Оценка моделей: метрики RMSE (Root Mean Square Error), MAE (Mean Absolute Error) и коэффициент детерминации  $R^2$ , позволяющие объективно оценить точность прогнозов и объясняемость моделей.

Применение данных методов позволяет выявить закономерности в оценках приложений, определить значимые признаки, влияющие на рейтинг, и предложить рекомендации для повышения вовлеченности пользователей на цифровых платформах. Новизна исследования заключается в сравнительном анализе традиционных и глубоких моделей на одном наборе данных и выявлении специфики прогнозирования рейтинга с учетом редких и неравномерно распределенных категориальных признаков.

Для анализа данных применяются методы машинного обучения с использованием библиотек TensorFlow и scikit-learn. Реализованы модели: нейронная сеть с архитектурой ANN (artificial neural network), CNN (convolutional neural network), RNN (recurrent neural network), а также для сравнения использованы модель Random Forest Regressor, XGBoost, и линейная регрессия. Для работы с данными была проведена очистка и нормализация данных. Также было произведено разделение данных на обучающую для тренировки нейронной сети и тестовую для произведения прогнозов. Качество моделей оценивалось с помощью метрик MAE, RMSE и  $R^2$ .

Датасет использовался из Kaggle, под названием Google Play Store Apps (Google Play Store Apps, 2025). После очистки данных от пустых значений, вышло 9366 примеров с 13 признаками. Далее, датасет делился на 80% обучающиеся данные, и 20% на тестовые данные.

В данной работе у нас решается проблема регрессии, так как будет предсказываться

средний рейтинг приложения, поставленный пользователями в пределах от 1 до 5, по 7 отобраным признакам (категория, тип, контент-рейтинг, установки, цена, размер, жанры), которые будут полезны для нашей задачи регрессии. Для нейронных сетей использовался оптимизатор “adam”, а критерий потери – “mse”.

Ниже приведены архитектуры 3-х разных нейронных сетей, а после них классические модели машинного обучения.

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 64)	512
dense_1 (Dense)	(None, 32)	2,080
dense_2 (Dense)	(None, 16)	528
dense_3 (Dense)	(None, 1)	17

Рис. 1. Архитектура ANN

В качестве простой модели нейронной сети был взят ANN, где используется полносвязная нейронная сеть (MLP) (Рис. 1). Общее количество параметров модели составляет 3137.

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv1d (Conv1D)	(None, 6, 32)	96
conv1d_1 (Conv1D)	(None, 5, 16)	1,040
flatten (Flatten)	(None, 80)	0
dense_4 (Dense)	(None, 16)	1,296
dense_5 (Dense)	(None, 1)	17

Рис. 2. Архитектура CNN

В качестве простой модели был взят CNN с количеством параметров 2449. Данная нейронная сеть использует свертки для поиска локальных признаков. (Рис. 2).

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm (LSTM)	(None, 32)	4,352
dense_6 (Dense)	(None, 16)	528
dense_7 (Dense)	(None, 1)	17

Рис. 3. Архитектура RNN

В качестве RNN был взят LSTM, где модель предсказывает рейтинг приложения по 7 признакам, интерпретируемым как последовательность длиной 7 (Рис. 3). Общее количество параметров - 4897.

В качестве классических методов машинного обучения были приведены линейная регрессия, Random Forest, XGBoost.

Линейная регрессия обычно используется для визуализации данных, и не всегда идеально подходит для задачи регрессии. Random Forest показывает баланс между скоростью обучения и качеством. XGBoost подходит для табличных данных.

На основе данных моделей мы проведем сравнительный анализ, выявим преимущества и недостатки, и выберем важные признаки для предсказаний моделей.

### Результаты и обсуждение

ML зарекомендовало себя как устойчивое и развивающееся направление, однако его развитие не является полностью прямолинейным. Машинное обучение основано на выведении закономерностей из исторических наблюдений, что не гарантирует точного вывода из данных. Также, как описано в статье Barbierato E. и Gatti A. (Barbierato, 2024), можно дать прогнозы, но без объяснений причинно-следственных связей, стоящими за ними, что и снижает доверие со стороны специалистов. Тем не менее, постоянно разрабатываются подходы для компенсации недостатков, что позволяет развивать точность и внедрять в практическом плане. Ради оценки того или иного подхода, необходимы исследования и выявления недостатков разных подходов, или же, наоборот, их достоинств.

Yu J. (Yu, 2022) провели обзор 43 исследований, в которых использовались модели CNN и RNN/LSTM в области умных домов. Они обнаружили, что наибольшее внимание занимают проблемы мониторинга активности, безопасности и управления энергией. Также обсуждалось, что CNN модели больше подходят при работе с изображениями и видео, в таких типах данных данная модель показывает наибольшую эффективность. А RNN/LSTM модель больше подходит под анализ данных, отличных от CNN. Авторы прибегают к использованию обеих моделей (CNN+LSTM). Это подтверждает эффективность комбинированного подхода при анализе данных разной природы. Данный вывод может помочь при определении лучших моделей для использования анализов под другие сферы, например, при анализе данных удовлетворенности приложением.

Тем не менее, обзор состоит только из 43 статей и ограничен временным рамками (2016–2020), но в последнее время технологии, визуальные модели, значительно изменились. Кроме того, авторы отмечают, что большинство исследований не рассматривают вопросы конфиденциальности и морали использования данных в умных домах. Помимо этих потенциальных недостатков машинного обучения для предсказания результатов по датасету, отметили эти проблемы в статье Zhu M. (Zhu, 2022: 107–116) подчеркивая, что сбор точных и больших данных является трудным, но, тем не менее, необходимым для точности результатов. Помимо этого, по их работе было выявлено, что алгоритмы работают только в узких случаях и не учитывают всех сложностей и тонкостей работы с вычислением качества воды. Рассматривая другую статью Sahu S.K. (Sahu, 2023: 1956) в попытке прогнозирования фондового рынка заключили, что помощью машинного и глубокого обучения возможно выявить закономерности только частично, но результаты всё равно остаются нестабильными. Чему причинами в данном случае выступают ограниченность данных и высокая изменчивость фондового рынка.

Suleman M. (Suleman, 2019: 57–61) проводили исследования также по найденному датасету в Kaggle. В их работе авторы провели исследования по предсказанию приложений в Google Play Store, с использованием алгоритмов машинного обучения фокусируясь на факторы влияния на рейтинги приложений с использованием регрессионной модели. Датасет состоит из 10000 приложений с разделением данных на 75 % для обучения и 25 % данных для прогнозирования и тестинга. В работе были применены алгоритмы MATLAB 2018 (Regression Learner app), включая Regression Trees (Fine, Medium, Coarse), SVM (Linear, Quadratic, Cubic, Gaussian), Ensemble methods и Gaussian Process Regression. В качестве оценки результатов авторы использовали RMSE, R-Squared, MSE, MAE. По их заключению Fine Tree точнее показывает результаты (RMSE 0.33, R-Squared 0.52). На основе их исследований, можно заключить, что предсказать рейтинг с помощью машинного обучения возможно со средней долей вероятности.

Способность автоматически извлекать сложные представления из больших объемов данных отличает глубокое обучение от традиционного машинного обучения Teye M.M.

(Тауе, 2023: 91). Это область искусственного интеллекта, которая быстро развивается, поэтому глубокое обучение лучше подходит для анализа найденного датасета и оно будет братья за основу в методологии. Так, нейронные сети уже показали хорошие результаты в исследовании Somers A. и Black B.J в медицинском применении (Somers, 2025: 056036), но с большим датасетом.

Исходя из матрицы корреляций (Рис. 4), видно, что сильных зависимостей между признаками нет, помимо зависимости между жанром и категорией, где корреляция имеет значение 0.78. Все признаки почти не коррелируют с рейтингом. Это говорит о том, что линейные модели и ANN будут слабыми.

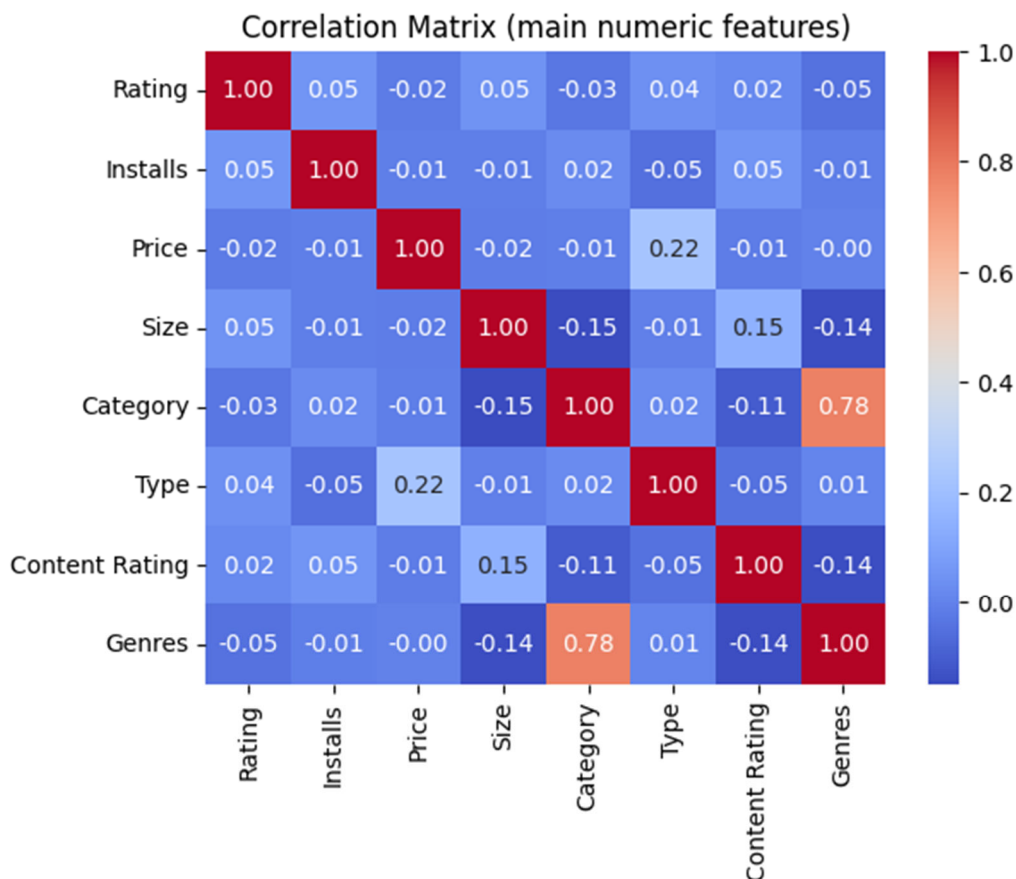


Рис. 4. Матрица корреляций признаков

Поэтому модели, которые хорошо справляются с нелинейными зависимостями, подойдут лучше всего.



Рис. 5. История обучения ANN, CNN, RNN

Поскольку данные имели табличный и относительно простой характер, в отличие от изображений и временных рядов, все модели продемонстрировали схожие кривые обучения (Рисунок 5). Для тренировки хватило бы 5 эпох.

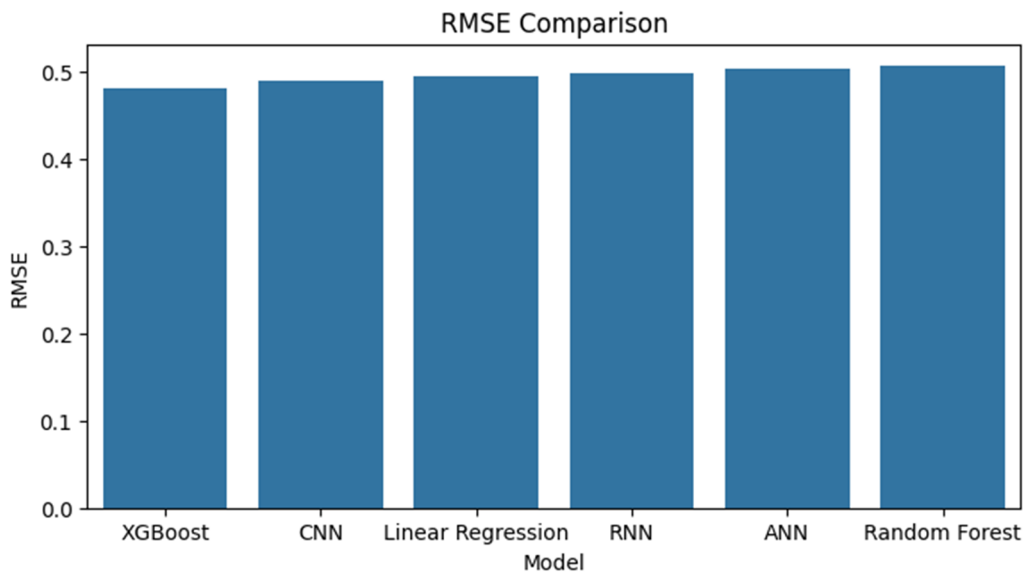


Рис. 6. Сравнение среднеквадратических ошибок моделей

Исходя из Рисунок 6, XGBoost показал наилучший, хотя и незначительно, результат по RMSE.

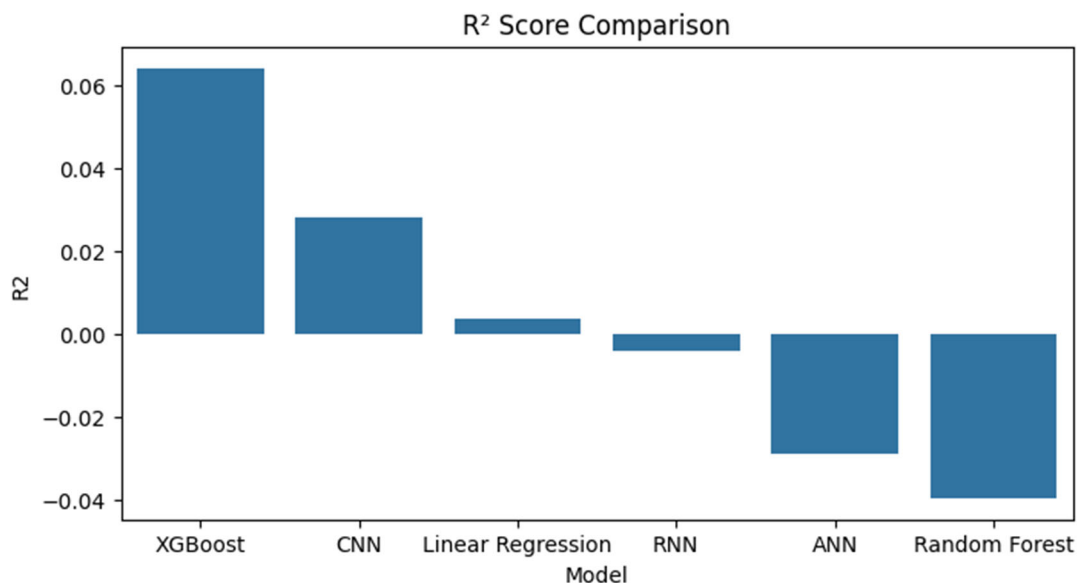


Рис. 7. Сравнение коэффициента детерминации

Исходя из Рисунка 7, XGBoost модель, которая лучше объясняет дисперсию, CNN - средний результат, тем временем как остальные модели хуже. Random Forest - хуже всего из-за переобучения.

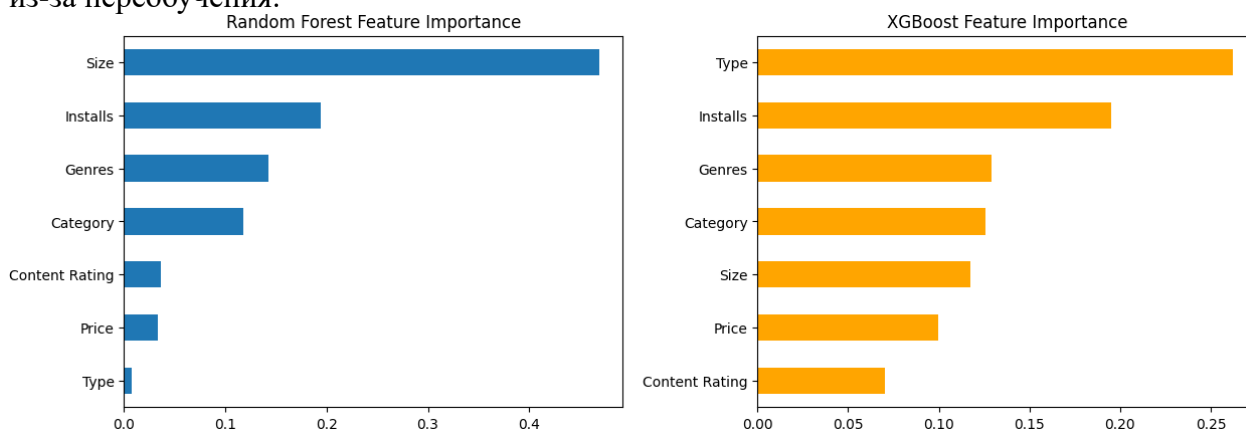


Рис. 8. Feature importance of Random Forest and XGBoost

Были проведены сравнения важностей особенностей Random Forest и XGBoost (Рисунок 8). Исходя из метрик RMSE и R2, нам стоит доверять XGBoost, что говорит о том, что такие признаки, как “type”, “installs”, “genres”, “category”, и другие, указанные в графике, больше всего подходят для использования в моделях машинного обучения.

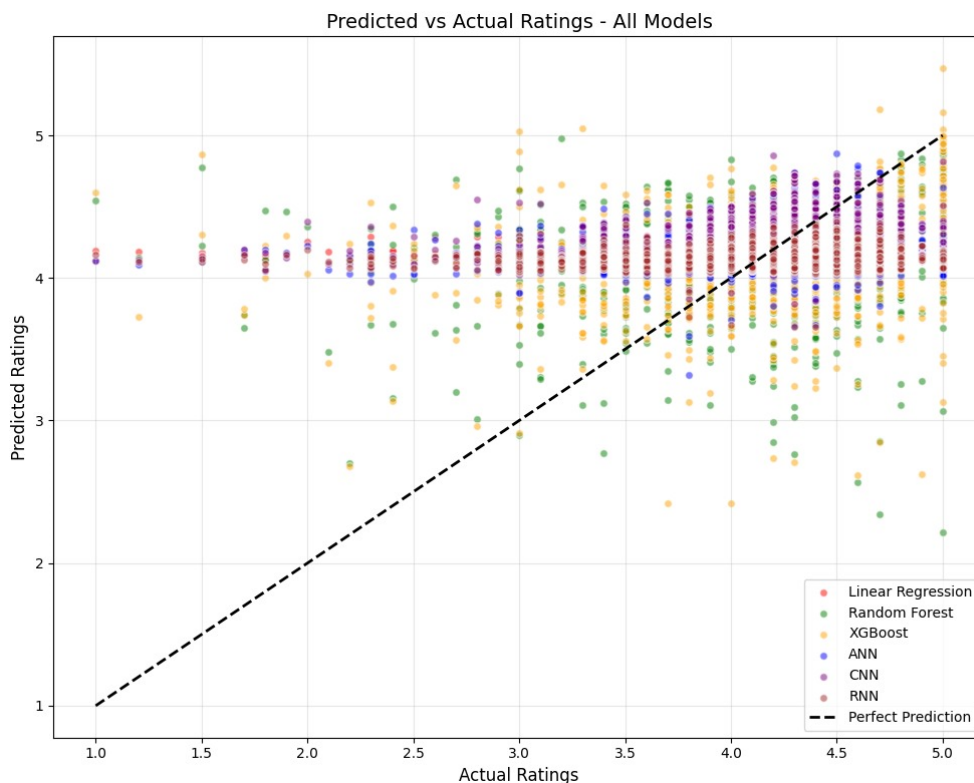


Рис. 9. Фактические и прогнозируемые результаты

Анализ по Рисунку 9 показал, что наличие редких и неравномерно распределённых данных в датасете негативно влияет на способность нейронной сети корректно обучаться. Модель выдаёт усреднённые предсказания и способна точно прогнозировать только рейтинги, находящиеся в диапазоне средних значений. Обнаружено, что для повышения точности требуется расширение выборки и балансировка категориальных данных.

### Заключение

В ходе проведённого исследования был реализован комплекс моделей машинного и глубокого обучения для анализа предпочтений пользователей мобильных приложений и прогнозирования их рейтингов на основе данных Google Play Store. Используемый датасет включал 9366 примеров с 13 признаками, отражающими характеристики приложений, такие как категория, тип, контент-рейтинг, количество установок, цена, размер и жанры. Для обработки данных были проведены очистка, нормализация числовых признаков и one-hot кодирование категориальных признаков, что позволило повысить качество входных данных для моделей.

Реализованные модели включали классические алгоритмы машинного обучения — линейную регрессию, Random Forest и XGBoost, а также нейронные сети: ANN, CNN и LSTM. Выбор таких моделей был обусловлен целью сравнения эффективности традиционных и глубоких моделей при прогнозировании рейтингов, а также выявлением их преимуществ и ограничений в условиях работы с табличными данными и неравномерно распределёнными категориальными признаками.

Анализ матрицы корреляций показал, что большинство признаков не имеют сильной линейной зависимости с рейтингом, за исключением высокой корреляции между жанром и категорией приложения ( $r = 0.78$ ). Это указывает на слабую предсказательную силу линейных моделей и необходимость применения алгоритмов, способных выявлять сложные нелинейные зависимости, таких как XGBoost или нейронные сети. Результаты обучения моделей показали, что при относительно простых табличных данных кривые обучения ANN, CNN и LSTM были схожи, что подтверждает возможность использования базовых архитектур нейронных сетей для предварительного анализа данных.

Сравнительный анализ моделей по метрикам RMSE и коэффициенту детерминации  $R^2$  выявил, что наилучшие результаты показала модель XGBoost. Random Forest, несмотря на свою способность выявлять важность признаков, продемонстрировал худший результат из-за переобучения, а линейная регрессия и ANN показали ограниченную предсказательную силу. CNN продемонстрировала средние показатели, что объясняется отсутствием сложных локальных структур в табличных данных, где свёрточные операции не дают значительного преимущества.

Особое внимание было уделено анализу важности признаков (feature importance). По результатам XGBoost и Random Forest, наибольшее влияние на рейтинг оказали такие признаки, как тип приложения, количество установок, жанры и категория. Эти признаки могут служить основой для формирования стратегий персонализации интерфейса и улучшения пользовательского опыта. В частности, понимание того, какие категории или жанры наиболее востребованы, может помочь разработчикам оптимизировать контент и функциональные возможности приложений, повышая удовлетворенность пользователей.

Анализ фактических и прогнозируемых результатов выявил, что нейронные сети в условиях неравномерного распределения данных имеют тенденцию выдавать усреднённые предсказания. Модель способна точно прогнозировать лишь средние значения рейтингов, что ограничивает её применимость для предсказания экстремально высоких или низких оценок. Этот вывод подтверждает необходимость расширения объёма данных, балансировки категориальных признаков и разработки методов работы с редкими значениями для повышения точности глубоких моделей.

Сравнение результатов с предыдущими исследованиями (Suleman, 2019; Yu, 2022; Somers, 2025) показало, что использование алгоритмов глубокого обучения для прогнозирования рейтингов приложений является оправданным, особенно при анализе сложных и нелинейных зависимостей. Однако, как и в исследованиях других авторов, точность моделей ограничена характером данных и их распределением, а также отсутствием дополнительных факторов, которые могут влиять на пользовательские оценки, таких как пользовательские отзывы, время использования приложения и качество обновлений.

Таким образом, ключевые выводы исследования включают:

- Эффективность моделей: XGBoost показал наилучшие результаты при прогнозировании рейтингов приложений на табличных данных. Нейронные сети могут быть полезны, но их точность ограничена из-за малой выборки и неравномерности данных.

- Важность признаков: Наибольшее влияние на рейтинг оказали признаки типа приложения, количество установок, категория и жанры, что может быть использовано для персонализации интерфейсов и повышения вовлеченности пользователей.

- Ограничения: Основными ограничениями исследования являются небольшое количество данных для редких категорий, неравномерное распределение признаков и отсутствие дополнительных факторов, которые могли бы усилить точность моделей.

Практическая значимость: Результаты исследования могут быть использованы разработчиками мобильных приложений для оптимизации пользовательского интерфейса, определения приоритетных категорий и жанров, а также для разработки систем персонализированных рекомендаций. Прогнозирование рейтингов позволяет заранее оценить потенциальную популярность приложения и скорректировать стратегию его продвижения.

Направления для дальнейших исследований: Для повышения точности прогнозирования рекомендуется: расширить выборку данных, включив более редкие и новые приложения; учитывать дополнительные факторы, такие как отзывы пользователей, частота обновлений и поведение пользователей внутри приложения; использовать методы балансировки данных для категориальных признаков; исследовать возможности ансамблирования моделей глубокого и классического обучения.

В целом, проведённая работа демонстрирует, что использование моделей глубокого обучения и современных алгоритмов машинного обучения предоставляет возможности для более глубокого понимания поведения пользователей и прогнозирования их оценок мобильных приложений. Несмотря на ограничения, выявленные закономерности и важные признаки могут стать основой для разработки более персонализированных, эффективных и привлекательных цифровых продуктов, что способствует повышению вовлеченности пользователей и улучшению пользовательского опыта на мобильных платформах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Bell, 2022 — Bell J. What Is Machine Learning? // Machine Learning and the City. — John Wiley & Sons, Ltd. — 2022. — Pp. 207–216. [Eng.]
- Luczak, 2022 — Luczak A., McNaughton B.L., Kubo Y. Neurons learn by predicting future activity // Nat. Mach. Intell. — Nature Publishing Group, — 2022. — Vol. 4. — №1. — Pp. 62–72. [Eng.]
- Sharifani, 2023 — Sharifani K., Amini M. Machine Learning and Deep Learning: A Review of Methods and Applications. // World Information Technology and Engineering Journal. — 2023. — Volume 10. — Issue 07. — Pp. 3897–3904. [Eng.]
- Dina, 2021 — Dina A.S., Manivannan D. Intrusion detection based on Machine Learning techniques in computer networks // Internet Things. — 2021. — Vol. 16. — P. 100462. [Eng.]
- Sharifani, 2022 — Sharifani K., Operating Machine Learning across Natural Language Processing Techniques for Improvement of Fabricated News Model. // International Journal of Science and Information System Research. — 2022. — Volume 12. — Issue 9. — Pp. 20–44. [Eng.]
- Sarker, 2021 — Sarker I.H. Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions // SN Comput. Sci. — 2021. — Vol. 2. — №3. — P. 160. [Eng.]
- Janiesch, 2021 — Janiesch C., Zschech P., Heinrich K. Machine learning and deep learning // Electron. Mark. — 2021. — Vol. 31. — №3. — Pp. 685–695. [Eng.]
- Barbierato, 2024 — Barbierato E., Gatti A. The Challenges of Machine Learning: A Critical Review // Electronics. — Multidisciplinary Digital Publishing Institute. — 2024. — Vol. 13. — №2. — Pp. 416. [Eng.]
- Yu, 2022 — Yu J., de Antonio A., Villalba-Mora E. Deep Learning (CNN, RNN) Applications for Smart Homes: A Systematic Review // Computers. — Multidisciplinary Digital Publishing Institute. — 2022. — Vol. 11. — №2. — P. 26. [Eng.]
- Zhu, 2022 — Zhu M., A review of the application of machine learning in water quality evaluation // Eco-Environ. Health. — 2022. — Vol. 1. — №2. — Pp. 107–116. [Eng.]
- Sahu, 2023 — Sahu S.K., Mokhadde A., Bokde N.D. An Overview of Machine Learning, Deep Learning, and Reinforcement Learning-Based Techniques in Quantitative Finance: Recent Progress and Challenges // Appl. Sci. — Multidisciplinary Digital Publishing Institute, — 2023. — Vol. 13. — №3. — P. 1956. [Eng.]
- Suleman, 2019 — Suleman M., Malik A., Hussain S.S. Google play store app ranking prediction using machine learning algorithm // Proceedings of the International Conference on Data Science 2019, 7-9 February. — 2019. — Pp. 57–61. [Eng.]
- Taye, 2023 — Taye M.M. Understanding of Machine Learning with Deep Learning: Architectures, Workflow, Applications and Future Directions // Computers. — Multidisciplinary Digital Publishing Institute. — 2023. — Vol. 12. — №5. — P. 91. [Eng.]
- Somers, 2025 — Somers A., Black B.J. Co-cultured sensory neuron classification using extracellular electrophysiology and machine learning approaches for enhancing analgesic screening // J. Neural Eng. — IOP Publishing. — 2025. — Vol. 22. — №5. — P. 056036. [Eng.]
- Google Play Store Apps, 2025 — Google Play Store Apps [Electronic resource]. — URL: <https://www.kaggle.com/datasets/lava18/google-play-store-apps> (accessed: 20.08.2025). [Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 1. Number 81 (2024). Pp.20–32  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.002>  
ӘОЖ3977

## NEW METHODS FOR DETERMINING AND RESTORING THE EVENNESS OF HIGHWAYS

**N. Kamzanov\***

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru)

**Nurbol Kamzanov** — PhD, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan  
E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>.

© N. Kamzanov

**Abstract.** The quality and smoothness of roads play an important role in ensuring the efficiency and safety of modern transportation systems. Proper design and quality of the pavement directly affect the stresses on the vehicle structure and passenger comfort. The aim of this study is to evaluate the smoothness of roads and develop new methods for pavement restoration. During the study, the height variance of road profile irregularities was analyzed, and spectral density methods were applied. Calculations were performed for various measurement bases, and pavement treatment methods were proposed to minimize stresses during vehicle movement. The results showed that the length of the measurement base plays an important role in evaluating variance of irregularities, and the road smoothness should correspond to the vehicle's average vibration frequency. The practical significance of the study lies in providing a foundation for designing road technological machines that reduce structural stresses and improve passenger comfort during pavement construction and repair. This methodology is aimed at increasing the effectiveness of road quality assessment and restoration, as well as ensuring the safety and reliability of traffic.

**Keywords:** roads, pavement smoothness, asphalt concrete, road profiles, spectral density, road technological machine

**For citation:** N. Kamzanov. New methods for determining and restoring the evenness of highways // Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 20–32. (In Kaz.).  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.002>

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

## АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДАРЫНЫҢ ТЕГІСТІГІН АНЫҚТАУДЫҢ ЖӘНЕ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІҢ ЖАҢА ӘДІСТЕРІ

**Н. Камзанов\***

Satbayev University, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru)

**Нурбол Камзанов** — PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан  
E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>.

© Н. Камзанов



**Аннотация.** Автомобиль жолдарының сапасы және тегістігі қазіргі көлік жүйелерінің тиімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Жол төсемінің дұрыс құрылуы және оның сапасы көлік құралының құрылымына түсетін кернеулер мен жолаушылардың жайлылығына тікелей әсер етеді. Осы зерттеудің мақсаты — автомобиль жолдарының тегістігін бағалау және жол төсемдерін қалпына келтірудің жаңа әдістерін әзірлеу. Зерттеу барысында жол профильдерінің бұзушылықтарының биіктік дисперсиялары талданып, спектрлік тығыздық әдістері қолданылды. Әр түрлі базалар үшін есептеулер жүргізіліп, көлік құралдарының қозғалысы кезіндегі кернеулердің минималды болуын қамтамасыз ететін жол төсемін өңдеу тәсілдері ұсынылды. Нәтижелер көрсеткендей, бұзушылықтардың дисперсиясын бағалауда өлшеу базасының ұзындығы маңызды рөл атқарады, ал жолдың тегістігі көлік құралының орташа тербеліс жиілігіне сәйкес келуі тиіс. Зерттеудің практикалық маңызы — жол төсемдерін салу және жөндеу кезінде құрылымдық кернеулерді азайтуға, жолаушылардың жайлылығын арттыруға мүмкіндік беретін жол технологиялық машиналарын жобалауға негіз жасау. Бұл әдістеме автомобиль жолдарының сапасын бағалау мен қалпына келтірудің тиімділігін арттыруға, сондай-ақ жол қозғалысының қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз етуге бағытталған.

**Түйін сөздер:** автомобиль жолдары, жол төсемінің тегістігі, асфальтбетон, жол профильдері, спектрлік тығыздық, жол технологиялық машинасы

**Дәйексөздер үшін:** Н. Камзанов. Автомобиль жолдарының тегістігін анықтаудың және қалпына келтірудің жаңа әдістері // Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 20–32 бет. (Қаз. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.002>

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

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОВНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Н. Камзанов\**

Satbayev University, Алматы, Қазақстан.

E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru)

**Нурбол Камзанов** — PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: [nuke963@mail.ru](mailto:nuke963@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2420-8362>.

© Н. Камзанов

**Аннотация.** Качество и ровность автомобильных дорог играют важную роль в обеспечении эффективности и безопасности современных транспортных систем. Правильное устройство дорожного покрытия и его качество напрямую влияют на напряжения, действующие на конструкцию транспортного средства, и на комфорт пассажиров. Целью данного исследования является оценка ровности автомобильных дорог и разработка новых методов восстановления дорожных покрытий. В ходе исследования анализировалась дисперсия высотных нарушений дорожных профилей, применялись методы спектральной плотности. Были проведены расчёты для различных баз, предложены методы обработки дорожного покрытия, обеспечивающие минимальные напряжения при движении транспортных средств. Результаты показали, что длина измерительной базы играет важную роль при оценке дисперсии нарушений, а ровность дороги должна соответствовать средней частоте колебаний транспортного средства. Практическая значимость исследования заключается в создании основы для проектирования дорожных технологических машин, позволяющих уменьшить конструктивные напряжения и

повысить комфорт пассажиров при строительстве и ремонте дорожных покрытий. Данный метод направлен на повышение эффективности оценки и восстановления качества автомобильных дорог, а также на обеспечение безопасности и надежности дорожного движения.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, ровность дорожного покрытия, асфальтобетон, дорожные профили, спектральная плотность, дорожная технологическая машина

**Для цитирования:** Н. Камзанов. Новые методы определения и восстановления ровности автомобильных дорог // Помышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 20–32. (На каз.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.002>

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

### Кіріспе.

Автомобиль жолдары – транспорт инфрақұрылымының негізгі элементтерінің бірі болып табылады және адамдар мен жүктердің қауіпсіз әрі тиімді қозғалысын қамтамасыз етеді. Жол төсемінің сапасы қозғалыстың қауіпсіздігіне, транспорт құралдарының ұзақ қызмет ету мерзіміне, жолаушылардың жайлылығына, сондай-ақ жол мен көліктерді пайдалану шығындарына тікелей әсер етеді. Әсіресе, жол бетінде пайда болатын кедір-бұдырлықтар, төсемнің тозуы, механикалық зақымдануы немесе конструктивтік ерекшеліктері нәтижесінде қалыптасатын динамикалық жүктемелер транспорт құралдарының бөлшектерінің тез тозуына, қозғалыс сапасының төмендеуіне және жолаушылардың жайлылығының азаюына әкеледі. Сол себепті автомобиль жолдарының профилін зерттеу, оны талдау, қалпына келтіру және нормативтік жағдайда ұстау әдістерін әзірлеу – маңызды ғылыми және практикалық мәселе болып табылады (Аспанова, 2025: 401–408).

Жол профильдерін зерттеу және жолдағы кедір-бұдырлардың транспорт құралдарына әсерін бағалау жұмыстары ғасырдан астам тарихқа ие. XX ғасырдың ортасында ғалымдар жолдардың микропрофильдерін статистикалық әдістер арқылы бағалауды бастады, жол учаскелеріндегі биіктік ауытқулардың дисперсиясын және таралуын өлшей отырып, жол сапасының критерийлерін қалыптастырды (Пархиловский, 1964: 14; Яценко, 1969: 219). Бұл зерттеулер жол төсемдерінің сапасын бағалауда негіз болып қызмет етті, алайда олар көбінесе тек статикалық параметрлерге сүйенді және қозғалыс жылдамдығы мен транспорт құралының конструкциясына әсерін есепке алмады. Кейінгі онжылдықтарда жол профилін бағалау әдістері күрделене түсті: амплитудалық және жиілік сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік беретін спектрлік талдау қолданылды, бұл нүктелік және ұзын толқын ұзындығының көлік құралдарына әсерін анықтауға жол ашты (Сидиков, 1973: 20–22; Певзнер, 1964: 15–18).

Қазіргі заманғы Қазақстандағы жол сапасына қойылатын талаптар транспорт құралдарының есептік жылдамдықтарында рұқсат етілген вертикаль үдеулерді қамтамасыз етуді көздейді. Бұл транспорт құралдарының конструкциялық элементтеріне түсетін динамикалық жүктемелерді азайту, бөлшектердің қызмет мерзімін ұзарту және жолаушылардың жайлылығын арттыру үшін маңызды. Сонымен қатар, жол құрылысын және жөндеуді жобалау кезінде экономикалық тиімділік пен технологиялық аспектілерді ескеру қажет. Яғни, жолдар ұзақ қызмет етуге жарамды, қауіпсіз болуы, механикаландыруға және автоматтандыруға ыңғайлы болуы тиіс (Бармакова және Қасымова, 2020: 200).

Дәстүрлі жол профильдерін бағалау әдістері, мысалы биіктік ауытқуларының дисперсиясын өлшеу, белгілі бір шектеулерге ие. Біріншіден, бұл әдістер транспорт құралының қозғалыс жылдамдығын ескермейді, сондықтан бір жол профилін әртүрлі жағдайларда әрқалай бағалауға тура келеді. Екіншіден, дисперсия көрсеткіші жол бетінің неровностарын толық сипаттай алмайды: бірдей дисперсияға ие асфальтбетон және тас

көпір учаскелері әртүрлі әсер етеді. Ұзын, тегіс толқындар минималды динамикалық жүктемелер береді, ал қысқа және биік неровностар едәуір жүктеме туғызады (Певзнер, 1964: 15; Яценко, 1970: 22–28).

Қазіргі замандағы жол профильдерін талдаудың негізгі әдістерінің бірі – спектрлік талдау, ол жол бетіндегі неровностардың амплитудалық-жиілік сипаттамаларын бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс динамикалық жүктемені және жолаушылардың жайлылығын анықтауға ғана емес, сонымен қатар жолды әртүрлі эксплуатациялық жағдайларда қалай өзгеретінін алдын ала болжауға мүмкіндік береді, сондай-ақ жөндеу және қалпына келтіру шараларын тиімді жобалауға жол ашады (Боровских, 1970: 51–54).

Осы зерттеудің өзектілігі бірнеше факторлармен түсіндіріледі. Біріншіден, Қазақстанда көптеген жолдар 20–30 жылдан астам уақыт бойы пайдаланылады, және олардың жағдайы қазіргі заманғы қауіпсіздік пен жайлылық талаптарына сай келмейді. Екіншіден, дәстүрлі әдістер жол профилін өлшеу мен бағалауда тиімді болмағандықтан, жоғары жылдамдықтағы қозғалыста транспорт құралдарына және жолаушыларға түсетін динамикалық әсерді дұрыс болжай алмайды. Үшіншіден, жол профильдерін талдау мен қалпына келтірудің жаңа әдістерін енгізу эксплуатациялық шығындарды азайтуға, жолдардың қызмет ету мерзімін ұзартуға және транспорт қызметінің сапасын арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты – транспорт құралдарына түсетін динамикалық жүктеме мен жолаушылардың жайлылығын ескере отырып, автомобиль жолдарының тегістігін анықтау және қалпына келтірудің жаңа әдістерін әзірлеу. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылады:

- Қолданыстағы жол профильдерін өлшеу және бағалау әдістерін талдау, олардың шектеулерін анықтау.

- Әртүрлі жол төсемдерінің транспорт құралдарына әсерін және биіктік ауытқуларының таралуын зерттеу.

- Жол бетіндегі неровностардың амплитудалық-жиілік сипаттамаларын бағалау үшін спектрлік талдауды қолдану.

- Қолайлы толқын ұзындығы мен интенсивтілігін ескере отырып, жол төсемін қалпына келтіру әдістерін әзірлеу.

- Жол төсемін жөндеуге арналған технологиялық машиналарды жобалау бойынша практикалық ұсыныстар жасау.

Осылайша, жүргізілген зерттеу статистикалық, спектрлік және инженерлік әдістерді біріктіре отырып, автомобиль жолдарының сапасын кешенді бағалауға және жақсартуға бағытталған. Алынған нәтижелер қозғалыс қауіпсіздігін, транспорт құралдарының қызмет ету мерзімін, жолаушылардың жайлылығын арттыруға, сондай-ақ жол құрылысын және жөндеуді оңтайландыруға практикалық мәнге ие болады (Аспанова, 2025: 401–408; Бармакова, 2020: 200).

### **Материалдар мен әдістер**

Зерттеудің практикалық маңызы автомобиль жолдарының төсемдерін бағалау және қалпына келтіру әдістерін жетілдіруде көрінеді. Жол профильдерінің сапасын бағалауда қолданылатын дәстүрлі статистикалық көрсеткіштер, мысалы биіктік ауытқуларының орташа дисперсиясы, тек жол бетінің жалпы тегістігін сипаттай алады, бірақ әртүрлі жол төсемдері үшін динамикалық әсердің ерекшеліктерін есепке алмайды (Пархиловский, 1964: 14; Яценко, 1969: 219). Осыған байланысты зерттеудің негізгі әдістерінің бірі ретінде спектрлік талдау таңдалды, ол жол бетінде қалыптасқан неровностардың амплитудалық және жиілік сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл көлік құралдарына түсетін динамикалық жүктемелерді болжауға, жол профилінің сапасын салыстырмалы түрде бағалауға және жөндеу жұмыстарының тиімділігін арттыруға негіз болады (Сидаков, 1973: 20–22; Певзнер, 1964: 15–18).

#### **1. Материалдар**

Зерттеуде Қазақстандағы әртүрлі типтегі автомобиль жолдарының профилдері пайдаланылды. Оларға мыналар кіреді:

- асфальтбетон төсемдері (жаңа және тозған);
- цемент-бетон төсемдері;
- тас төсемдері;
- қар мен мұзбен жабылған учаскелер.

Әр жол типі үшін зерттеу учаскелерінің ұзындығы 12–30 м аралығында алынды, бұл динамикалық және статика сипаттамаларды анықтауға жеткілікті болды. Жиналған деректерге сәйкес, әр жол учаскесіндегі неровностардың биіктігінің дисперсиясы түрлі ұзындықтағы толқындармен анықталады, бұл көлік құралына түсетін әсерді толық сипаттауға мүмкіндік береді (Певзнер, 1964: 15; Яценко, 1970: 22–28).

Кесте 1. Автомобиль жолдары учаскелерінің біркелкі емес биіктігі шамаларының дисперсиясы

Жол төсемінің түрі	Дисперсия $[см^2]$	Бағаланатын учаскелердің максималды ұзындығы $[М]$
Асфальтбетон	0,14 – 0,22	-
Асфальтбетон	0,64 – 1,59	30
Цемент-бетон	0,25 – 1,54	30
Асфальтбетон жақсы жағдайда	1,55	-
Асфальтбетон	1,5 ÷ 5,0	12
Тас	1,82 ÷ 5,24	30

## 2. Өлшеу әдістері

Жол профилдерін өлшеу үшін кешенді әдіс қолданылды, ол келесі құралдар мен тәсілдерді қамтиды:

1) Механикалық профиль өлшеу құралдары Роликтік немесе линейкалық құрылғылар арқылы жол бетінің микропрофилін анықтау жүзеге асырылды. Бұл әдіс жолдағы микро-неровностардың биіктігін нақты өлшеуге мүмкіндік береді.

2) Спектрлік талдау Жол профилінің бұзушылықтарын амплитудалық-жиілік сипаттамаларымен бағалау жүргізілді. Бұл тәсіл көлік құралдарына түсетін динамикалық жүктемелерді болжауға, жол профилінің сапасын салыстырмалы түрде бағалауға және жөндеу жұмыстарының тиімділігін арттыруға негіз болады.

3) Статистикалық өңдеу

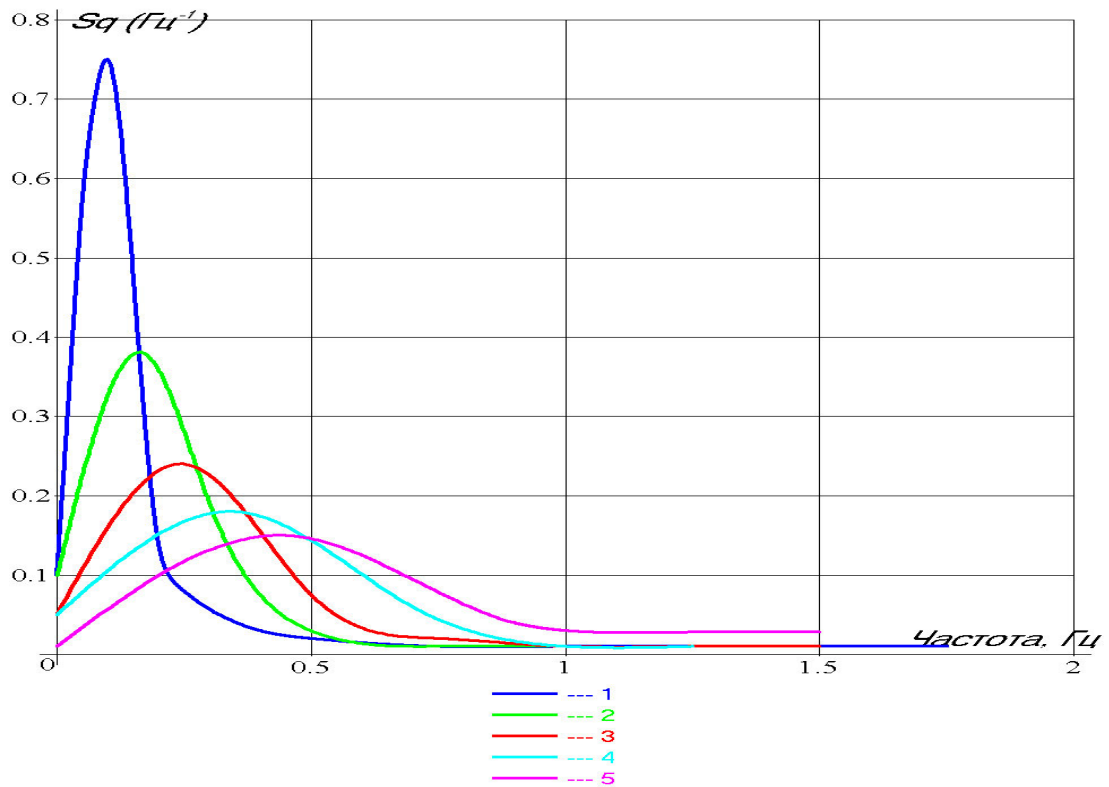
Негізгі көрсеткіштер:

Орташа дисперсия;

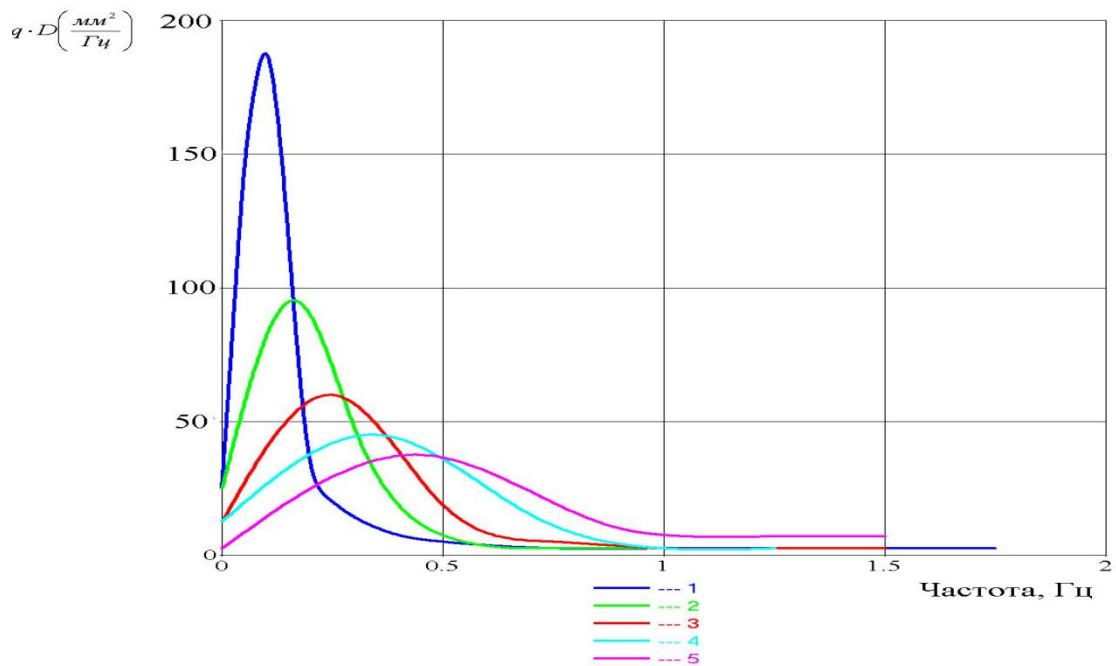
Стандарттық ауытқу;

Спектрлік тығыздық;

Максималды және минималды биіктік ауытқулары.



a)



б)

а) нормаланған спектрлік тығыздықтар, б) нормадан тыс спектрлік тығыздықтар,

1–10 км/сағ; 2–20 км / сағ; 3–30 км / сағ; 4–40 км / сағ; 5– 0 км/сағ

*1-сур.* Көлік құралының әртүрлі қозғалыс жылдамдығына арналған тозған асфальтбетон төсемінің спектрлік тығыздығы.

3. Зерттеу әдістемесінің принциптері

- Толқын ұзындығын есепке алу – көлік құралына әсер ететін маңызды параметр;

- Қозғалыс жылдамдығын ескеру – спектрлік тығыздықтар көлік құралдарының нақты жылдамдығына көбейтілді;

- Статистикалық сипаттамалар – дисперсия мен стандарттық ауытқу салыстырмалы талдау үшін негіз болады;

- Өлшеу базасын таңдау – профиль ерекшелігін дұрыс бағалау үшін маңызды.

4. Өлшеу деректерін өңдеу

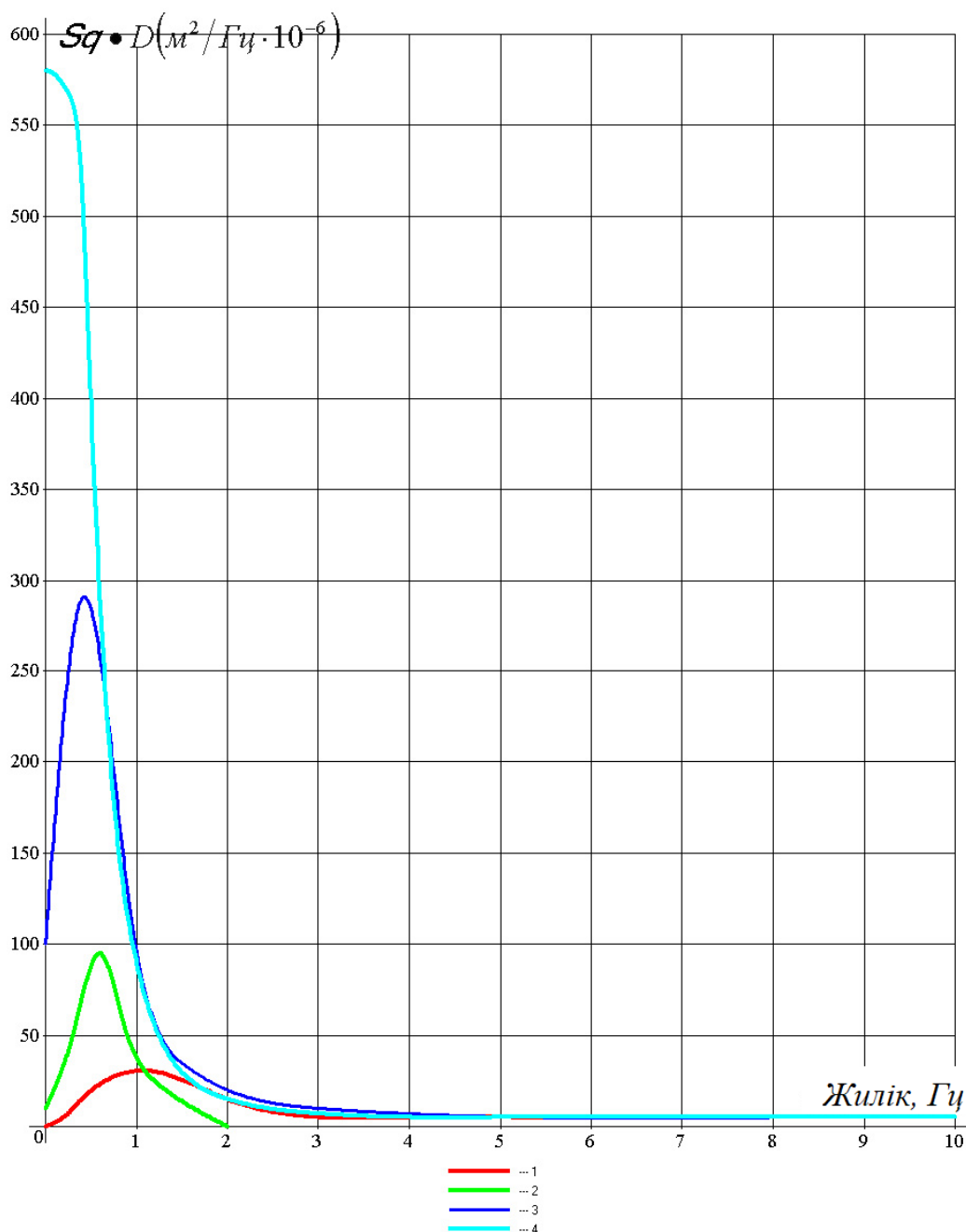
5. Зерттеудің әдістемесі жол бетінің неровностарын түрлі жылдамдықтағы көлік құралдарының динамикалық әсерін есепке алуға мүмкіндік береді. Деректерді өңдеу барысында спектрлік тығыздықтар нормаланған және нормаланбаған түрінде есептелді, бұл жол сапасының бағасын нақты және салыстырмалы түрде көрсетуге мүмкіндік береді.

Зерттеу барысында алынған деректер жол төсемін жобалау және жөндеу кезінде динамикалық және статикалық жүктемелерді ескере отырып, оптималды шешімдер қабылдауға негіз болады.

#### **Нәтижелер мен талқылау.**

Автомобиль жолы профилінің адамға және көлік құралының тасымалдаушы жүйесіне әсерін бағалау (бұзушы функция) профильдердегі бұзушылықтар биіктігінің таралуының спектрлік тығыздығымен байланысты екені белгілі. Қазіргі уақытта көлік құралының әртүрлі қозғалыс жылдамдықтарындағы автомобиль жолдарының профильдерінің әсер етуінің спектрлік тығыздығы ординаттарды бөлу және бірлік жылдамдық үшін есептелген учаскенің спектрлік тығыздығының абсциссаларын көлік құралының нақты жылдамдығына көбейту арқылы есептеледі. Алынған спектрлік тығыздықтардың көрнісі (1-сур., а және б).

Профильдердің спектрлік тығыздығы қисықтарының сипатын талдау нормаланған спектрлік тығыздықтардың ординаттарынан нормаланбаған тығыздықтардың ординаттары тұрақты көбейткішпен ерекшеленетінін көрсетті-кез-келген негізде профильдің берілген бөлімі үшін анықталуы мүмкін дисперсия. Сонымен, егер автомобиль жолының кез-келген учаскесінің профилі базаның әртүрлі мәндерімен алынып тасталса, онда көлік құралының бірлік жылдамдығына арналған спектрлік тығыздықтар 2-суретте көрсетілген.

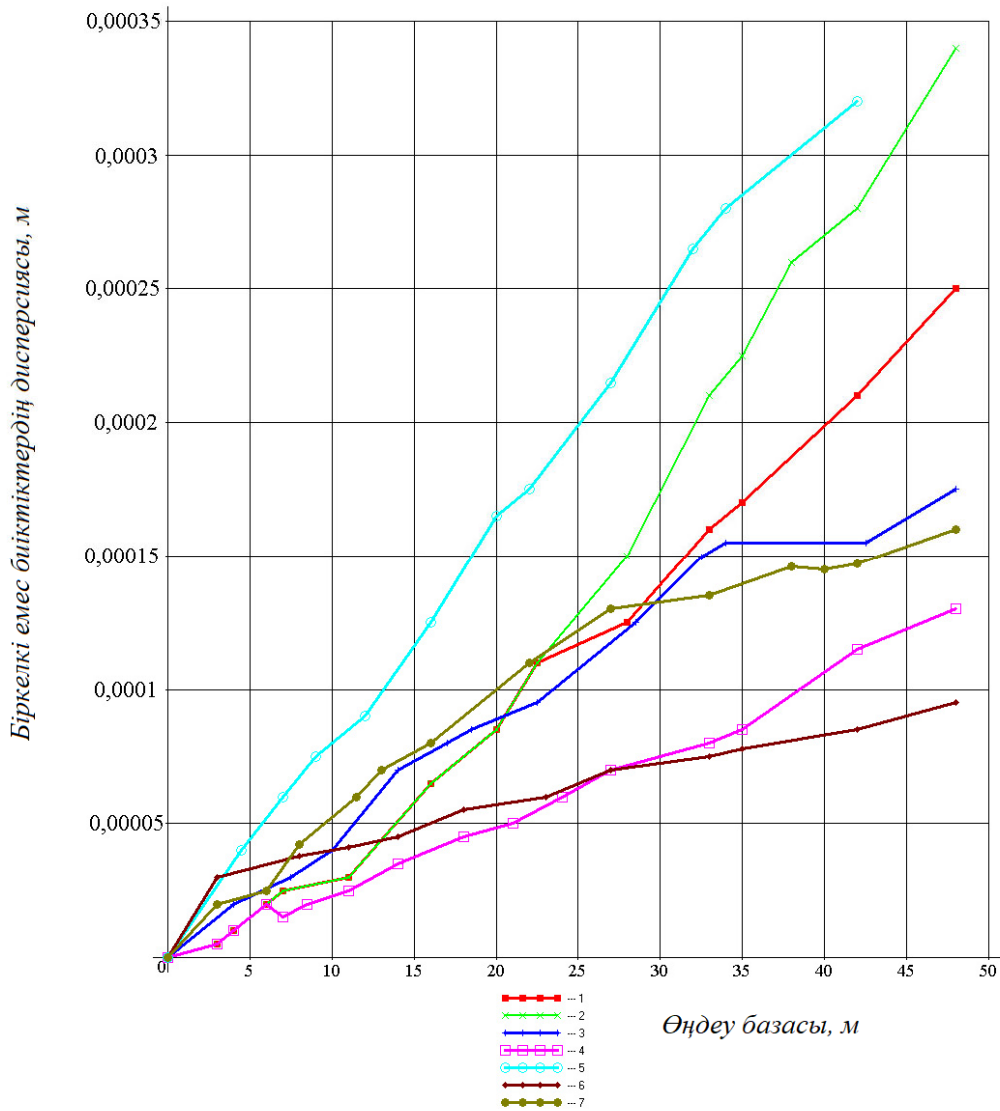


2-сур. Өртүрлі базалар үшін есептелген асфальт төселген автомобиль жолы учаскесінің нормадан тыс спектрлік тығыздығы

1 –  $l = 4,1$  м; 2 –  $l = 7,2$  м; 3 –  $l = 13,8$  м; 4 –  $l = 24,2$  м

Содан кейін сапа талаптарын қанағаттандыратын асфальтбетон жабыны учаскесі үшін дисперсияны бағалау  $l = 8,2$ м базасы үшін  $D = 34,2 \text{ мм}^2$  - ға; ВВВ -  $D = 73,5 \text{ мм}^2$  базасы үшін;  $l = 14,4$ м -  $D = 119,6 \text{ мм}^2$ ,  $l = 27,6$ м базасы үшін және т. б. тең қабылдануы мүмкін.

Демек, кез-келген профильдегі бұзушылықтар биіктігінің дисперсиясы осы профильдің тұрақтысы емес, бірақ өлшеу базасының өзгеруімен өзгереді, ал базаның өсуімен дисперсия мөлшері де өседі (3-сур.).

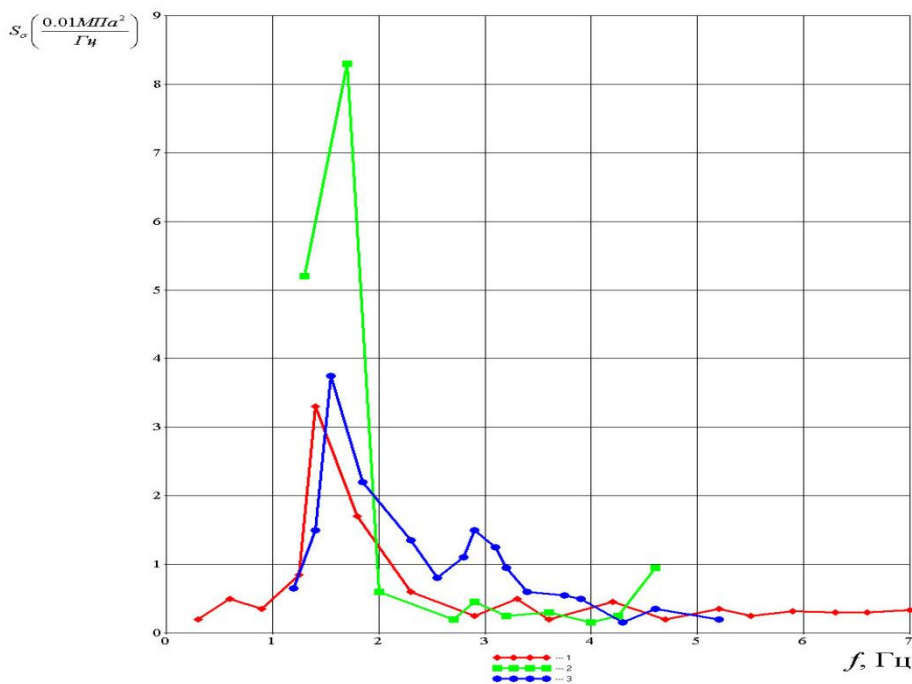


1, 2, 3-асфальтбетон төсемі; 4-тозған асфальтбетон төсемі; 5-қар мен мұзбен жабылған асфальтбетон төсемі; 6-көпір төсемі; 7-қардың жұқа қабатымен жабылған асфальтбетон төсемі

3 – сур. Базаға байланысты әр түрлі автомобиль жолдарының профильдерінің дисперсиясының мөлшері.

Автомобиль жолының профилін өлшеу және өңдеу әдістемесі басқаша болуы керек. Мұндай әдіс жұмыста ұсынылды (Дмитриченко, 1976: 24–25). Оны қолданудың негізділігі соңғы үш онжылдықта кең ауқымды эксперимент арқылы алынған үлкен статистикалық материалмен расталды. Бұл, мысалы, әртүрлі көліктерді жобалау кезеңінде олардың құрылымдық элементтеріндегі кернеулердің спектрлік тығыздығын есептеуге мүмкіндік берді. Ұсынылған әдістеменің заңдылығы кернеулердің спектрлік тығыздығының өзгеру сипатымен расталады (4-сур.).

Бір кездері жұмыста (Дмитриченко, 1976: 24–25) автомобиль жолдарының профильдерін өлшеу және талдау әдістемесі жобалау кезеңінде көлік құралының құрылымының жүктемесі мен беріктігін бағалау тұрғысынан жасалды (4-сур.).



1 – эксперименттегі жазба бойынша; 2 – профильді тегістеу ұзындығымен  $l = 25$  мм; 3 – тегістеу ұзындығы бойынша  $l = V/f_u$   
 4. сур. Троллейбус рамасының ланжерон кимасындағы кернеудің спектрлік тығыздығы № 5,  $V=30$  км/сағ сенсор) есептелген

Сонымен қатар, көлік құралының құрылымдық элементтеріндегі айнымалы кернеулер деңгейін төмендету үшін жол жабынының тегістігі көлік құралының қозғалысы кезіндегі кернеулер минималды болатындай болуы керек. Демек, көлік құралдарының металл конструкцияларының беріктігін арттыру және жолаушылар мен жүргізушілердің жүру ыңғайлылығын арттыру мәселесі жол төсемін орнату және жөндеу кезінде жобалау және сапаны қамтамасыз ету кезеңінде шешілуі керек. Сапа деп автомобиль жолының макронеровность толқындарының көлік құралының қозғалыс жылдамдығымен байланысы түсініледі.

Автомобиль жолдарының профильдерін өлшеу және талдау, жүктемені және сәйкесінше үдеуді бағалау бойынша жұмыстарды шолудан көрініп тұрғандай, автомобиль жолының профилі тек жүк көтергіш жүйенің жүктемесіне және көлік құралының үдеу мөлшеріне әсер етпейтін немесе аз әсер ететін толқын ұзындығына ие болатындай етіп құрылуы керек.

Осылайша, жол төсемін салу және жөндеу кезінде құрылымның жүктелуіне және жолаушылардың жайлылығына әсер ететін толқын ұзындығы алынып тасталуы керек.

#### Қорытынды.

Осы зерттеу жұмысы автомобиль жолдарының профилі мен олардың көлік құралының тасымалдаушы жүйесіне, сондай-ақ адамға әсерін жан-жақты талдауға арналған. Зерттеу барысында автомобиль жолдарының бұзушылықтары мен профиліндегі биіктіктің ауытқулары спектрлік тығыздық әдісі арқылы бағаланып, көлік құралының әртүрлі қозғалыс жылдамдықтарындағы әсері анықталды. Бұл тәсіл жол профилінің нақты әсерін сандық тұрғыда көрсетуге, көліктің бірлік жылдамдығындағы кернеу деңгейін бағалауға және жол төсемінің сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

Зерттеу көрсеткендей, профильдегі бұзушылықтардың биіктігінің дисперсиясы өлшеу базасының өзгеруіне тәуелді болып, базаның өсуімен спектрлік ауытқу да артады. Әртүрлі базалар үшін алынған спектрлік тығыздықтардың талдауы көлік құралының құрылымдық элементтеріндегі кернеулердің өзгеру сипатын нақты көрсетеді. Бұл

мәліметтер көлік құралдарының металл конструкцияларының беріктігін жобалау кезінде, сондай-ақ жол төсемінің сапасын бағалау және жөндеу жұмыстары кезінде негіз ретінде қолданылады.

Жол профилін өлшеу және талдау әдістемесі соңғы үш онжылдықта алынған статистикалық деректерге негізделген. Бұл әдіс көліктерді жобалау кезеңінде олардың құрылымдық элементтеріндегі кернеулерді есептеуге, жол төсемінің сапасын жобалау мен жөндеу кезінде қажетті ақпарат алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жолдағы қауіпті толқын ұзындықтарын анықтап, оларды фрезерлеу арқылы алып тастау жол төсемі арқылы қозғалатын көліктердің металл конструкцияларының беріктігін арттырады және жолаушылардың жайлылығын қамтамасыз етеді.

Зерттеу барысында жол төсемінің сапасын арттыру үшін жаңа жол технологиялық машиналарын қолдану ұсынылды. Тозған жол төсемін фрезерлеу арқылы алып тастау, фрезерлеу учаскесін жолдың орташа толқын ұзындығына орналастыру және машинаның оптималды жылдамдықпен қозғалуын қамтамасыз ету көлік құралдарының табиғи тербелістерін азайтуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл жол технологиялық машиналардың ұзындығын азайтып қана қоймай, материалдық шығындарды төмендетуге, еңбек өнімділігін арттыруға және жөндеу жұмыстарының уақытын қысқартуға жағдай жасайды.

Қосымша талдаулар көрсеткендей, жол профилінің сапасы тек көлік құралдарының құрылымдық беріктігіне ғана емес, сонымен қатар жолаушылардың қозғалыс ыңғайлылығына, жол қозғалысының қауіпсіздігіне және қозғалыс жылдамдығының тұрақтылығына да әсер етеді. Автомобиль жолдарының макронеровность толқындарын тиімді басқару жол төсемінің қызмет ету мерзімін ұлғайтуға, апаттық жағдайлардың алдын алуға және жалпы көлік жүйесінің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, жол профилін өлшеу мен талдаудың және жол төсемін фрезерлеу арқылы түзетудің кешенді әдістемесін енгізу жол қозғалысының сапасын жақсартады, көлік құралдарының табиғи тербелісін төмендетеді, металл конструкциялардың қызмет ету мерзімін ұзартады және жолаушылардың жайлылығын қамтамасыз етеді. Жол төсемін жобалау және жөндеудегі бұл тәсілдер экономикалық тиімділікті арттыруға, жол жабындарының ұзақ мерзімді қызметін қамтамасыз етуге және көлік инфрақұрылымын жетілдіруге нақты үлес қосады.

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері көрсеткендей, автомобиль жолдарының профилін өлшеу және талдау әдістемесін енгізу, қауіпті толқын ұзындықтарын анықтау және алып тастау, сондай-ақ жол технологиялық машиналарды тиімді пайдалану жол төсемдерінің сапасын, көлік құралдарының сенімділігін және жолаушылардың қозғалыс ыңғайлылығын қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Бұл тәсілдер болашақта автомобиль жолдарын жобалау, жөндеу және қайта қалпына келтіру кезінде ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді және көлік жүйесінің тұрақтылығы мен қауіпсіздігін арттыруға бағытталған.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

Андреев А., 2011 – Андреев, А. Материалдық цивилизация, экономика және капитализм. — Т.1. Күнделікті өмір құрылымдары: мүмкін және мүмкін емес. — М.: Прогресс. — 2011. — 623 б. [Russ.]

Боровских, 1976 – Боровских, В.Е., Дмитриченко, С.С., Ильинич, И.М., Колокольцев, В.А. Қалалық көлік үшін жолдардың микропрофильдерін зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі. — 1976. — № 5. — Б. 24–25. [Russ.]

Боровских, 1980 – Боровских, В.Е., Колокольцев, В.А. Мобильді машиналардың тасымалдаушы жүйелерінің жүктемесін бағалау үшін жол микропрофильдерін зерттеу. — М.: НИИНАвтопром, 1980. — 32 б. [Russ.]

Боровских, 1970 – Боровских, В.Е., Солянов, А.Н. Саратов қаласының троллейбус маршруттарындағы жол микропрофильдерін зерттеудің кейбір нәтижелері. — XXXIII Ғылыми-техникалық конференция материалдары, Саратов, 1970. — Б. 51–54. [Russ.]

Дмитриченко, 1981 – Дмитриченко, С.С., Боровских, В.Е., Колокольцев, В.А. Мобильді машиналардың тасымалдаушы жүйелерінің ұзақ мерзімділігін жобалау кезеңінде есептеу үшін жол микропрофильдерінің статистикалық сипаттамаларын бағалау әдісі. — Машиналар жасау журналы. — 1981. — № 4. — Б. 17–20. [Russ.]

Гордеев, 1972 – Гордеев, В.Н. Жолдардың тегіс емес жерлерінің ықтималдық сипаттамалары әдісі. — Автомобиль өнеркәсібі. — 1972. — № 3. — Б. 14–16. [Russ.]

Николаенко, 1967 – Николаенко, Н.А. Құрылыс конструкцияларын динамикалық есептеу үшін ықтималдық әдістер. — М.: Машиностроение, 1967. — 366 б. [Russ.]

- Пархилковский, 1964 – Пархилковский, И.Г., Кислов, Б.А. Жол микропрофильдерін өлшеуге арналған құрылғы. — Горький ауылшаруашылық институтының еңбектері, Горький, 1964. — № 11. — Т.14. [Russ.]
- Пархилковский, 1968 – Пархилковский, И.Г. Жолдардың таралған түрлерінің беттерінің ықтималдық сипаттамаларын зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі, 1968. — № 8. — Б. 18–22. [Russ.]
- Певзнер, 1973 – Певзнер, Ю.М., Гридасов, Г.Г., Плетнев, А.Е. Автомобильдердің жүру тегістігін нормалау. — Автомобиль өнеркәсібі, 1973. — № 11. — Б. 11–15. [Russ.]
- Певзнер, 1964 – Певзнер, Ю.М., Тихонов, А.А. Жолдардың негізгі түрлерінің микропрофильдерінің статистикалық қасиеттерін зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі, 1964. — № 1. — Б. 15–18. [Russ.]
- Проскураков В.Б., Развалов А.С., 1972 – Проскураков, В.Б., Развалов, А.С. Стационарлы кездейсоқ әсер кезінде машиналардың бөлшектерінің сенімділігі. — Машиналар жасау журналы, 1972. — № 2. — Б. 26–28. [Russ.]
- Сидуков Ю.Д., Плужников И.И., 1973 – Сидуков, Ю.Д., Плужников, И.И. Ағаш тасымал жолдарының микропрофильдерінің әсерінің статистикалық сипаттамалары. — Автомобиль өнеркәсібі, 1973. — № 5. — Б. 20–22. [Russ.]
- Щепиляков В.С., Яценко Н.Н., 1968 – Щепиляков, В.С., Яценко, Н.Н. Тегіс емес жолда қозғалған кезде аспа жүйесінің беріліске әсері. — Автомобиль аспаларының зерттеулері (НАМИ семинары материалдары), 1968. — Б. 47–51. [Russ.]
- Щетина В.А., Грачев Е.В., 1969 – Щетина, В.А., Грачев, Е.В. Жолдардың микропрофильдерінің статистикалық сипаттамаларын жанама әдіспен зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі, 1969. — № 12. — Б. 11–14. [Russ.]
- Владыкин Н.Г., Геккер Ф.Р., Спицына Д.Н., Югов Б.В., 1973 – Владыкин, Н.Г., Геккер, Ф.Р., Спицына, Д.Н., Югов, Б.В. Жүк көлігінің тасымалдаушы жүйесінің динамикалық жүктемесіне амортизацияланған тораптардың параметрлерінің әсері. — Автомобиль өнеркәсібі, 1973. — № 10. — Б. 18–21. [Russ.]
- Яценко Н.Н., 1970 – Яценко, Н.Н. Жүк көлігінің рамасының жолдағы тегіс емес жерлердің әсерінен жүктемесін қалыптастыру. — Автомобиль өнеркәсібі, 1970. — № 11. — Б. 22–28. [Russ.]
- Боровских, 1976 – Боровских, В.Е., Дмитриченко, С.С., Ильинич, И.М., Колокольцев, В.А. Қалалық көлік үшін жолдардың микропрофильдерін зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі, 1976. — № 5. — Б. 24–25. [Russ.]
- Боровских, 1970 – Боровских, В.Е., Солянов, А.Н. Саратов қаласының троллейбус маршруттарындағы жол микропрофильдерін зерттеудің кейбір нәтижелері. — XXXIII Ғылыми-техникалық конференция материалдары, Саратов, 1970. — Б. 51–54. [Russ.]
- Дмитриченко, 1976 – Дмитриченко, С.С., Боровских, В.Е., Ильинич, И.М., Колокольцев, В.А. Қалалық көлік үшін жолдардың микропрофильдерін зерттеу. — Автомобиль өнеркәсібі, 1976. — № 5. — Б. 24–25. [Russ.]
- Дмитриченко, 1981 – Дмитриченко, С.С., Боровских, В.Е., Колокольцев, В.А. Мобильді машиналардың тасымалдаушы жүйелерінің ұзақ мерзімділігін жобалау кезеңінде есептеу үшін жол микропрофильдерінің статистикалық сипаттамаларын бағалау әдісі. — Машиналар жасау журналы, 1981. — № 4. — Б. 17–20. [Russ.]

#### REFERENCES

- Andreev A, 2011 – Andreev, A. (2011) Material'naia tsivilizatsiia, ekonomika i kapitalizm. — Tom 1. Struktury povsednevnosti: vozmozhnoe i nevozmozhnoe. — M.: Progress. — 2011. — 623 p. [in Russ.]
- Borovskikh, 1976 – Borovskikh, V.E., Dmitrichenko, S.S., Ilinich, I.M., Kolokoltsev, V.A. (1976) Issledovanie mikropofiliei dorog dlya gorodskogo transporta [Research of road microprofiles for urban transport]. — Avtomobil'naia promyshlennost'. — 1976. — № 5. — Pp. 24–25. [in Russ.]
- Borovskikh, 1980 – Borovskikh, V.E., Kolokoltsev, V.A. (1980) Issledovanie mikropofiliei dorog dlya otsenki nagruzhenosti nesushchikh sistem transportnykh mash [Study of road microprofiles for evaluating load on supporting systems of transport machines]. — M.: NIINAVtoprom. — 1980. — 32 p. [in Russ.]
- Borovskikh, 1970 – Borovskikh, V.E., Solyanov, A.N. (1970) Nekotorye rezul'taty issledovaniia mikroprofilia dorog na marshrutnykh liniyakh trolleibusov g. Sarova [Some results of the study of road microprofiles on trolleybus routes of Sarov]. — Tez. dokl. XXXIII nauch.-tekhn. konf., Sarov. — 1970. — Pp. 51–54. [in Russ.]
- Dmitrichenko, 1981 – Dmitrichenko, S.S., Borovskikh, V.E., Kolokoltsev, V.A. (1981) Metod otsenki statisticheskikh kharakteristik mikroprofilia dorog dlya rascheta dolgochnosti nesushchikh sistem mobil'nykh mashna stadii proektirovaniia [Method for evaluating statistical characteristics of road microprofiles for durability calculation of mobile machine supporting systems at the design stage]. — Vestnik mashinostroeniia. — 1981. — № 4. — Pp. 17–20. [in Russ.]
- Gordeev, 1972 – Gordeev, V.N. (1972) Metod veroiatnostnykh kharakteristik nerovnostei dorog [Method of probabilistic characteristics of road irregularities]. — Avtomobil'naia promyshlennost'. — 1972. — № 3. — P. 14–16. [in Russ.]
- Nikolaenko, 1967 – Nikolaenko, N.A. (1967) Veroiatnostnye metody dinamicheskogo rascheta mashinostroitel'nykh konstruktssii [Probabilistic methods of dynamic calculation of engineering structures]. — M.: Mashinostroenie. — 1967. — 366 p. [in Russ.]
- Parhilovskii, 1964 – Parhilovskii, I.G., Kislov, B.A. (1964) Pribor dlia izmereniia mikroprofilia dorogi [Device for measuring road microprofile]. — Trudy in-ta / Gorkovskii s.-kh. in-t, Gorkii. — 1964. — № 11. — T.14. — [in Russ.]
- Parhilovskii, 1968 – Parhilovskii, I.G. (1968) Issledovanie veroiatnostnykh kharakteristik poverkhnostei rasprostranennykh tipov dorog [Study of probabilistic characteristics of surfaces of common types of roads]. — Avtomobil'naia promyshlennost'. — 1968. — № 8. — Pp. 18–22. [in Russ.]
- Pevzner, 1973 – Pevzner, Y.M., Gridasov, G.G., Pletnev, A.E. (1973) O normirovaniu plavnosti khoda avtomobilei [On standardization of vehicle ride smoothness]. — Avtomobil'naia promyshlennost'. — 1973. — № 11. — Pp. 11–15. [in Russ.]
- Pevzner, 1964 – Pevzner, Y.M., Tikhonov, A.A. (1964) Issledovanie statisticheskikh svoistv mikroprofilia osnovnykh tipov avtomobil'nykh dorog [Study of statistical properties of microprofiles of matypes of roads]. — Avtomobil'naia promyshlennost'. — 1964. — № 1. — Pp. 15–18. [in Russ.]
- Proskuriakov, 1972 – Proskuriakov, V.B., Razvalov, A.S. (1972) Nadyozhnost' detaley mashpri statsionarnom sluchainom vozdeistvii [Reliability of machine parts under stationary random load]. — Vestnik mashinostroeniia. — 1972. — № 2. — Pp. 26–28. [in Russ.]

Sidukov, 1973 – Sidukov, Y.D., Pluzhnikov, I.I. (1973) Statisticheskie kharakteristiki vozdeistviia mikroprofilia lesovoznykh dorog [Statistical characteristics of road microprofiles impact on timber transport roads]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1973. — № 5. — Pp. 20–22. [in Russ.]

Shchepiliakov, 1968 – Shchepiliakov, V.S., Yatsenko, N.N. (1968) Vliianie podressorivaniia na nagruzhenost' transmisii pri dvizhenii avtomobilia na nerovnoi doroge [Influence of suspension on transmission load when driving on uneven road]. — *Issledovanie avtomobil'nykh podvesok (Trudy seminar NAMI)*. — 1968. — Pp. 47–51. [in Russ.]

Shchetina, 1969 – Shchetina, V.A., Grachev, E.V. (1969) Kosvennyi metod issledovaniia statisticheskikh kharakteristik mikroprofilia avtomobil'nykh dorog [Indirect method for studying statistical characteristics of road microprofiles]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1969. — № 12. — Pp. 11–14. [in Russ.]

Vladykin, 1973 – Vladykin, N.G., Gekker, F.R., Spitsyna, D.N., Yugov, B.V. (1973) Vliianie parametrov amortizirovannykh uzlov na dinamicheskuiu nagruzhenost' nesushchei sistemy gruzovogo avtomobilia [Influence of suspension parameters on dynamic load of truck supporting system]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1973. — № 10. — Pp. 18–21. [in Russ.]

Yatsenko, 1970 – Yatsenko, N.N. (1970) Formirovanie nagruzhenosti ramy gruzovogo avtomobilia ot vozdeistviia nerovnoi dorogi [Formation of truck frame load from uneven road]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1970. — № 11. — Pp. 22–28. [in Russ.]

Borovskikh, 1976 – Borovskikh, V.E., Dmitrichenko, S.S., Ilinich, I.M., Kolokoltsev, V.A. (1976) Issledovanie mikropofiliei dorog dlya gorodskogo transporta [Research of road microprofiles for urban transport]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1976. — № 5. — Pp. 24–25. [in Russ.]

Borovskikh, 1970 – Borovskikh, V.E., Solyanov, A.N. (1970) Nekotorye rezul'taty issledovaniia mikroprofilia dorog na marshrutnykh liniyakh trolleibusov g. Sarova [Some results of the study of road microprofiles on trolleybus routes of Saratov]. — *Tez. dokl. XXXIII nauch.-tekhn. konf., Saratov*. — 1970. — Pp. 51–54. [in Russ.]

Dmitrichenko, 1976 – Dmitrichenko, S.S., Borovskikh, V.E., Ilinich, I.M., Kolokoltsev, V.A. (1976) Issledovanie mikropofiliei dorog dlya gorodskogo transporta [Research of road microprofiles for urban transport]. — *Avtomobil'naia promyshlennost'*. — 1976. — № 5. — Pp. 24–25. [in Russ.]

Dmitrichenko, 1981 – Dmitrichenko, S.S., Borovskikh, V.E., Kolokoltsev, V.A. (1981) Metod otsenki statisticheskikh kharakteristik mikroprofiliei dorog dlya rascheta dolgochnosti nesushchikh sistem mobil'nykh mashina stadii proektirovaniia [Method for evaluating statistical characteristics of road microprofiles for durability calculation of supporting systems of mobile machines at the design stage]. — *Vestnik mashinostroeniia*. — 1981. — № 4. — Pp. 17–20. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 1. Number 81 (2024). Pp.33–47  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.003>  
UDC 629.42.067(075)

## CREATION OF A CONCEPTUAL MODEL OF AUTOMATED SELF-LEARNING SYSTEM OF FUNCTIONAL CONTROL AND DETECTION OF RAILWAY TRANSPORT

*A. Oralbekova<sup>1\*</sup>, A. Turdaliev<sup>1</sup>, V. Wojcik<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Lublin Polytechnic University, Lubun, Poland.

E-mail: [aiou070@mail.ru](mailto:aiou070@mail.ru)

**Ayaulym Oralbekova** — PhD, associate professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [oralbekova.ayaulym@mtgu.edu.kz](mailto:oralbekova.ayaulym@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-4030-0740>;

**Auezhan Turdaliev** — Doctor of Technical Sciences, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz](mailto:turdaliev.auezhan@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-4092-3507>;

**Waldemar Wojcik** — PhD, Director of Institute of Electronic and Information Technologies, Lublin Polytechnic University, Lubun, Poland

E-mail: [waldemar.wojcik@pollub.pl](mailto:waldemar.wojcik@pollub.pl), <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© A. Oralbekova, A. Turdaliev, V. Wojcik

**Abstract.** Ensuring reliable and trouble-free operation of all railway and high-tech systems remains a priority task in the field of scientific developments related to operation and modernization of such complexes. The aim of the study is to develop and refine a machine learning method for the automated detection system (ADS) of functional states of railway transport components and assemblies. The objectives include: creating a glossary of feature realizations for each class of anomalies or faults; determining the minimum size of the training matrix and permissible deviations for feature implementation; developing a binary training matrix (OUFT) and optimizing its structure to improve detection accuracy. Analysis of existing NDC methods and machine learning algorithms (K-means, DBSCAN, FDBSCAN) was performed to build binary matrices and cluster features. The proposed approach optimizes the ADS training process, reduces computational complexity, and improves anomaly and fault detection in railway components and assemblies. Algorithms for parallel optimization of fault detection features and measures to enhance DSS accuracy in automated diagnostics were proposed. The developed machine learning method and ADS structure allow the creation of error-free decision rules for the diagnosis of railway transport components. This approach improves the accuracy and reliability of decision support systems and automated detection systems for functional anomalies.

**Keywords:** automated detection system, railway transport, machine learning, binary matrix, clustering, component diagnostics, functional states

**For citation:** A. Oralbekova, A. Turdaliev, V. Wojcik. Creation of a conceptual model of automated self-learning system of functional control and detection of railway transport//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 33–47. (In Eng.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.003>

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



## ТЕМІРЖОЛ ТРАНСПОРТЫН ФУНКЦИОНАЛДЫ БАҚЫЛАУ МЕН АНЫҚТАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ӨЗІН-ӨЗІ ОҚЫТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ МОДЕЛІН ҚҰРУ

*А. Оралбекова<sup>1\*</sup>, Ә. Турдалиев<sup>1</sup>, В. Войцик<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>Люблин политехникалық университеті, Любин, Польша.

E-mail: aiau070@mail.ru

**Аяулым Оралбекова** — PhD, қауымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті Алматы, Қазақстан

E-mail: oralbekova.ayaulym@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4030-0740>;

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

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

**Вальдемар Войцик** — PhD, Электрондық және ақпараттық технологиялар институтының директоры, Люблин Политехникалық Университеті, Люблин, Польша

E-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl, <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© А. Оралбекова, А. Турдалиев, В. Войцик

**Аннотация.** Барлық теміржол және жоғары технологиялық жүйелердің сенімді және ақаусыз жұмысын қамтамасыз ету — осы саланың ғылыми зерттеулеріндегі басым міндеттердің бірі. Зерттеудің мақсаты — теміржол көлігінің тораптары мен агрегаттарының функционалды күйін анықтайтын автоматтандырылған жүйенің (ADS) машиналық оқыту әдісін әзірлеу және жетілдіру. Міндеттері: ақаулар немесе аномалиялар классы бойынша белгілер сөздігін жасау; ADS оқыту матрицасының минималды өлшемін және белгілерді жүзеге асыруға рұқсат етілген ауытқуларды анықтау; OUFT бинарлық оқыту матрицасын әзірлеу және оның құрылымын оңтайландыру арқылы анықтау дәлдігін арттыру. NDC әдістері және машиналық оқыту алгоритмдері (K-means, DBSCAN, FDBSCAN) талданды, бинарлық матрицаларды құру және белгілерді кластерлеу жүзеге асырылды. Ұсынылған тәсіл ADS оқыту процесін оңтайландырады, есептеу күрделілігін төмендетеді және ақаулар мен аномалияларды анықтауда тиімділікті арттырады. Сондай-ақ, ақауларды анықтау белгілерін параллель оңтайландыру алгоритмдері ұсынылды. Дайындалған машиналық оқыту әдісі мен ADS құрылымы теміржол көлігінің компоненттерін диагностикалау үшін қателіксіз шешім қабылдау ережелерін жасауға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл шешім қабылдау жүйелері мен автоматтандырылған анықтау жүйелерінің дәлдігі мен сенімділігін арттырады.

**Түйін сөздер:** автоматтандырылған анықтау жүйесі, теміржол көлігі, машиналық оқыту, бинарлық матрица, кластерлеу, компонент диагностикасы, функционалды жағдайлар

**Дәйексөздер үшін:** А. Оралбекова, А. Турдалиев, В. Войцик. Теміржол транспортын функционалды бақылау мен анықтаудың автоматтандырылған өзін-өзі оқыту жүйесінің тұжырымдамалық моделін құру//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 33–47 бет. (Ағыл. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.003>

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

## КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ САМООБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*А. Оралбекова<sup>1\*</sup>, А. Турдалиев<sup>1</sup>, В. Войцик<sup>2</sup>*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

Люблинский технический университет, Любин, Польша.

E-mail: aiau070@mail.ru

**Аяулым Оралбекова** — PhD, ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет т, Алматы, Казахстан

E-mail: oralbekova.ayaulym@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4030-0740>;

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

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

**Вальдемар Войцик** — PhD, директор Института электронных и информационных технологий, Люблинский политехнический университет, Люблин, Польша

E-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl, <https://orcid.org/0000-0002-0843-8053>.

© А. Оралбекова, А. Турдалиев, В. Войцик

**Аннотация.** Обеспечение надежной и безаварийной работы всех железнодорожных и высокотехнологичных систем является одной из приоритетных задач в области научных разработок, связанных с эксплуатацией и модернизацией таких комплексов. Цель исследования — разработка и уточнение метода машинного обучения для автоматизированной системы обнаружения (ADS) функционального состояния узлов и агрегатов железнодорожного транспорта. Основные задачи включают: формирование глоссария признаков для каждого класса аномалий или неисправностей; определение минимального размера матрицы обучения ADS и допустимых отклонений для реализации признаков; разработка бинарной матрицы обучения OUFT и оптимизация её структуры для повышения точности распознавания. Проведен анализ существующих методов NDC и применяемых алгоритмов машинного обучения (K-means, DBSCAN, FDBSCAN) для построения бинарных матриц и кластеризации признаков. Показано, что предложенный подход позволяет оптимизировать процесс обучения ADS, снижая вычислительную сложность и повышая эффективность распознавания аномалий и отказов узлов и агрегатов. Были сформированы алгоритмы параллельной оптимизации контроля признаков неисправностей и предложены меры по повышению точности DSS в автоматизированной диагностике. Разработанный метод машинного обучения и структура ADS обеспечивают возможность создания безошибочных правил принятия решений для диагностики состояния компонентов железнодорожного транспорта. Предложенный подход позволяет улучшить точность и надежность систем поддержки принятия решений и автоматизированных систем обнаружения функциональных нарушений.

**Ключевые слова:** автоматизированная система обнаружения, железнодорожный транспорт, машинное обучение, бинарная матрица, кластеризация, диагностика узлов, функциональные состояния

**Для цитирования:** А. Оралбекова, А. Турдалиев, В. Войцик. Концептуальное построение модели для автоматизированной самообучаемой системы функционального контроля и детектирования железнодорожного транспорта//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 33–47. (На англ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.003>

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

### Introduction.

Ensuring reliable and trouble-free operation of all railway and high-tech railway systems remains one of the priority tasks in the segment of scientific developments related to the

implementation, operation and modernization of such high-tech complexes. As has been shown by many scientists who have been engaged in research in this direction, in order to increase the operational reliability and service life of the main systems, components and assemblies (SCA) of locomotives, timely identification (detection) of their defects is necessary, even before an emergency occurs. This problem is solved by the functional control system directly during the operation of the control system. In addition, in practice, the recognition classes characterizing the possible functional states of SCA intersect in the feature space, that requires defuzzification of fuzzy data. When using a quantitative scale for measuring detection features, an effective method of such defuzzification is the use of machine learning. This approach makes it possible to transform the a priori fuzzy partition of the space of features for detecting anomalies in operation and faults of SCA into a clear set (Schickert, 2005: 807–815; Aydin, 2012: 1–6; Le Mortellec, 2013: 227–240; Papaalias, 2008: 367–384; Jin, 2009: 8–25).

One of the promising approaches that need further development of the synthesis of a functional control system of SCA of RT is the use of ideas and methods of information-extremal intelligent technology (IEI-technology), based on maximizing the information capacity of the decision support system in the training process of the automated detection system of SCA.

The solution of the problem, in particular, is associated with the need to form on the basis of known and new features (i.e., which were not initially entered into the knowledge base of the automated detection system - ADS) of the so-called object used for training (OUFT). This object is a matrix based on the realizations of the features of anomalies in the operation of SCA.

#### Materials and methods.

Within the framework of the article, the following tasks are solved:

- to form a glossary of feature implementations for each class of anomalies or faults, as well as an alphabet of classes in terms of fault detection objects (FDO)
- to determine the minimum size of the matrix that is used in the training process of the ADS (OUFT) (subject to the requirements for its representativeness);
- to determine the normalized permissible deviations for the implementation of the features of recognition (detection) of anomalies or faults in the operation of the control system of railway rolling stock.

In order to obtain an input mathematical description of the ADS, it is necessary to study and analyze in detail the features of operation of the primary sources of information, from which the ADS system receives data on the certain realizations of the features of faults. For example, in existing methods and means of NDC, there are used devices as primary sources of information. The mathematical model of ADS in general form as a set-theoretical structure can be represented as follows (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 171):

$$\Delta_B = \langle IS, T, RS, SS, OS, \Pi, \Phi \rangle, \quad (1)$$

where  $IS$  – a set of input signals that are processed in ADS;

$T$  – moment of time to obtain information about the state of the detected system, node or assembly;

$RS$  – a set of feature implementations that are used in the process of detecting faults;

$SS$  – a space of possible states for a system, node or assembly that are subject to the NDC procedure;

$OS$  – a set of data that is obtained at the output from the module for primary processing of signals (information), for example, from the NDC tools. Or the module of primary data processing – PDPM;

$\Pi : IS \times T \times RS \rightarrow SS$  – transition quantifier (used to record changes in the state of SNA, which are subject to detection during their operation. It is assumed that a change in states can occur under the influence of internal or external factors)

$\Phi : IS \times T \times RS \rightarrow LM$  – formation quantifier of the set  $LM$  (learning matrix –  $m$ ).

The Cartesian product of sets  $IS, T, RS, SS$  is used as a universe  $UT$  of tests during ADS testing

$$UT = IS \times T \times RS \times SS. \quad (2)$$

The ADS scheme, which includes a software module with self-training elements, is shown on Figure 1.

The quantifier  $o\theta: CL^{[2]} \rightarrow RC^{[2]}$  is used to divide the space of realizations of the  $OR$  features (faults or anomalies in the operation of SCA or – faults detecting objects – FDO) into two recognition classes.

The classification parameter  $OC$  is used to test the statistical assumption (that is, the hypothesis) that the FDO belongs to a certain class of faults or anomalies in the operation of SCA.

After assessing the hypotheses using the quantifier  $hy$ , there is formed a set  $AR^{is}$  that characterizes the accuracy of detecting the corresponding faults or anomaly in the operation of SCA (i.e., FDO).

It is accepted that  $\zeta$  - the number of statistical assumptions,  $is = \zeta^2$  - the number of characteristics that can be processed in the ADS for SCA of the railway rolling stock.

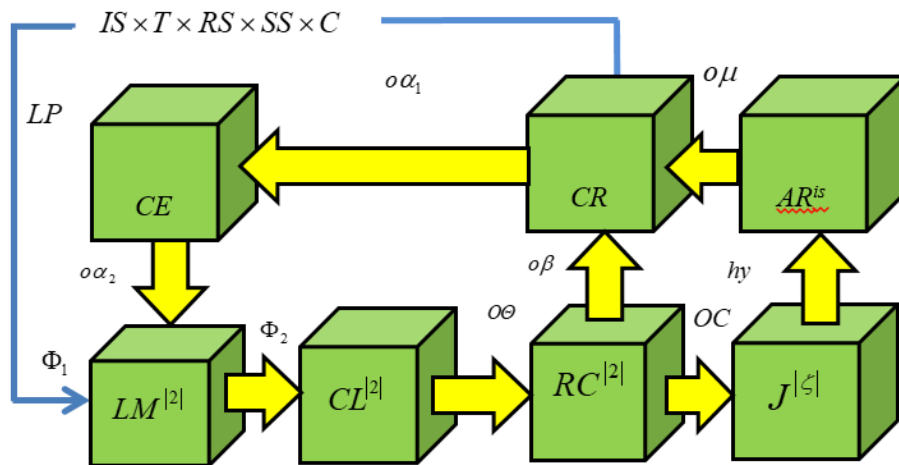


Fig. 1. Schematic diagram of the ADS software module

The quantifier  $o\mu$  forms a set  $CR$  that allows to implement the procedure for assessing the efficiency of detecting faults or anomalies in the operation of SCA within a class.

The quantifier  $o\beta$  closes the detection loop and is used to optimize the system of control deviations from templates (norms) that are stored in the ADS repository.

Quantifiers  $\Phi_1: IS \times T \times RS \times SS \times C \rightarrow LM^{[2]}$  and  $\Phi_2: LM^{[2]} \rightarrow CL^{[2]}$  are used to form the input matrix used in the training process of the ADS (ITM) and in the organization of the binary training matrix (BTM), respectively. Here  $C$  - a fragment of data for detection.

The set  $CE$  is closed sequentially by quantifiers  $o\alpha_1: CR \rightarrow CE$  and  $o\alpha_2: CE \rightarrow LM^{[2]}$ . These quantifiers allow to change the realizations of FDO features for different classes in the process of training ADS.

A quantifier  $LP: CR \rightarrow IS \times T \times RS \times SS \times C$  is used to regulate the ADS training process.

Based on the conceptual scheme of the ADS operation, presented on Figure 1, we will formulate the following formalized statement of the problem of information synthesis of the ADS elements. Let the alphabet of FDO classes  $\{CL_s^0 | s = \overline{1, S}\}$  and a multidimensional binary matrix used

for training (MBMT of FDO) which, accordingly, characterizes the  $m$  – th functional state of SCA for a specific recognition class  $CL_s^o$ , be known:

$$(3) \quad \left\| m_{s,i}^{(j)} \right\| = \begin{vmatrix} m_{s,1}^{(1)} & m_{s,2}^{(1)} & \dots & m_{s,k}^{(1)} & \dots & m_{s,N}^{(1)} \\ m_{s,1}^{(2)} & m_{s,2}^{(2)} & \dots & m_{s,k}^{(2)} & \dots & m_{s,N}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{s,1}^{(j)} & m_{s,2}^{(j)} & \dots & m_{s,k}^{(j)} & \dots & m_{s,N}^{(j)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{s,1}^{(n)} & m_{s,2}^{(n)} & \dots & m_{s,k}^{(n)} & \dots & m_{s,N}^{(n)} \end{vmatrix}$$

In expression (3), the following designations are adopted: row of the matrix — implementation of the FDO  $\{m_{s,i}^{(j)} | i = \overline{1, N}\}$  representation,  $N$  — the number of informative realizations of features used to detect SCA; column - a stochastic sample  $\{m_{s,i}^{(j)} | j = \overline{1, n}\}$  that is used during training for a sample of size  $n$ .

A clear organization of the glossary of realizations of recognition (detection) features (or GFDO) is a prerequisite for ADS. The procedure for filling GFDO  $\sum^{|N|}$ , where  $N = DS \sum^{|N|}$ , is implemented as a sequence of actions aimed at formalizing the realization of features. In this case, the primary features characterize directly the failure of SCA, and the secondary features are derived from the primary ones.

As primary realizations of features, you can use parameters that are read from certain sensors or experimental data obtained directly, for example, during the implementation of the methods of the NDC SCA of railway rolling stock.

Various statistical characteristics can be used as secondary realizations of FDO features, for example, vectors of realization of a certain class  $\{m_{s,i}^{(j)} | i = \overline{1, N}\}$ , training set  $\{m_{s,i}^{(j)} | j = \overline{1, n}\}$  for OUFT, etc.

The alphabet of FDO classes  $\{m_s^0\}$  for ADS is formed at the first stage by the system developer with the involvement of specialists in diagnosing faults of the railway rolling stock.

At the second stage, the synthesis of the alphabet continues with the help of intelligent systems and technologies, for example, with the help of DSS or expert systems (ES) (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432; Giantomassi, 2015: 1770–1780), which are capable of directly operating in the mode of cluster analysis of input data.

As was shown earlier in (Papaelias, 2008: 367–384; Jin, 2009: 8–25; Mariani, Pastore, Pezze, 2011: 486–508; Huang, 2013: 974–981; Orbán, 2009: 2287–2298; Yella, 2006: 10–20; Bhowmik, 2013: 1–18), in case of the invariability of the glossary of the realizations of features of FDO and an increase in the capacity of the alphabet, it is possible to change the asymptotic characteristics of ADS. Accordingly, this factor can significantly affect the functional efficiency of the training procedure for such systems. This is, in particular, due to an increase in the degree of intersection of classes of faults or anomalies in the operation of ADS, which are subject to detection.

For a more convenient implementation of the procedure for creating a container, the following assumption is made: there is a container (CON) (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 171), which allows consideration of the optimization parameters of CON in a binary feature



space (BFS -  $RS_b$ ), for some standard vector, for example,  $cl_s \in CL_s^o$ . The vertex of the vector defines the geometric center of CON -  $C_s^o$ . To calculate the radius (container radius), taking into account the works (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432; Giantomassi, 2015: 1770–1780), the following expression was used:

$$r_s = \sum_{i=1}^N (cl_{m,i} \oplus \zeta_i), \tag{4}$$

where  $cl_{s,i}$  –  $i$ -th coordinate of the standard vector  $cl_s$ ;

$\zeta_i$  –  $i$ -th coordinate of the vector  $\zeta$  for FDO realization, the vertex of which refers to the container  $C_s^o \in CL_s^o$ ;

$N$  – number of realizations of FDO features in the ADS knowledge base.

### Results and discussion.

The advantage of the K-means algorithm is its low computational complexity, while the algorithm works well when a large amount of data is processed. The DBSCAN algorithm is rather slow with a large amount of data. In the tasks of automatization of the SCA diagnosis, as a rule, the data volumes are small and the use of the K-means algorithm does not give a tangible effect (Lakhno, 2016: 32–44).

Let's suppose that a series of measurements of the values of the controlled realizations of features in FDO for SCA of the railway rolling stock has been carried out, and the resulting matrix has the following form:

$$m = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & \dots & - & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ - & 1 & \dots & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & - & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Thus, the set of objects to be checked belonging to a class is specified by binary features. A dash indicates the uncertainty of the realization of the feature for FDO.

More detailed research results of the procedures for the formation of binary matrices used for training in recognition systems are given in (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432; Giantomassi, 2015: 1770–1780), as well as in US patents: US 2011/0208714 A1; US9294502 and others.

We will assume that in order to assess the functional efficiency of a self-training ADS, it is also necessary to take into account the effect on the parameters of its operation of a structured vector of space-time parameters  $v = \langle v_1, \dots, v_k, \dots, v_{RS} \rangle$ . We also take into account the corresponding restrictions  $RC_k(v_1, \dots, v_{RS}) \leq 0$ . Using the technology of training ADS, the task of determining the optimal parameters of the vector  $\{v_c^*\}$  in the field of determining  $\max$  of the information criterion of the effectiveness of training ADS is set as the resulting goal of the training procedure (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17):

$$CR_s^* = \max_V CR_s, \tag{5}$$

where  $CR_s$  – information effectiveness criterion (IEC) of the ADS training procedure during the detection of the FDO class  $CL_s^0$ ;

$V$  – permissible values of the parameters of ADS functioning.

Thus, during the information synthesis of ADS, it is possible to partially solve the problem by determining the optimal values of the parameter  $v_k^*$ :

$$v_k^* = \arg_{V_k} CR_s^*, \tag{6}$$

where  $V_k$  – the range of permissible values of the parameter  $v_k$ .

Let's consider the procedure for the DSS functioning as an element of ADS in the training mode "with a teacher", i.e. the case where there is a matrix used for training.

As a result of working with the multidimensional information space of the realization of features of FDO ADS for the railway rolling stock, it is possible to obtain a binary training matrix (BTM)  $\{CL_s^j\}$ , which consists of structured vectors-implementations of the image of the corresponding anomaly in the operation of SCA or their fault:

$$cl_s^j = \langle cl_{s,1}^{(j)}, \dots, cl_{s,i}^{(j)}, \dots, cl_{s,N}^{(j)} \rangle. \tag{7}$$

The binary training matrix is also used to assess the verification of permissible deviations in the detection process (or the permissible deviations verification/control system – PDCS). PDCS  $\{\delta_{n,i} | i = \overline{1, N}\}$ , as well as the parameters that determine the sample of coordinates of binary vectors for the standard classes of FDO, are subsequently stored in the ADS database.

For example, Figure 2 shows an example of converting component temperature measurement data in decimal and binary form for ADS.

№ п/п	Десятичное представление	Двоичное представление
C1	73	0100 1001
C2	98	0110 0010
C3	99	0110 0011
C4	115	0111 0011
C5	129	1000 0001
C6	140	1000 1100
C7	18	0001 0010
C8	200	1100 1000
C9	201	1100 1001
C10	240	1111 0000
C11	56	0011 1000
C12	236	1110 1100

Fig. 2. An example of the formation of a binary matrix for training ADS

Similar binary training matrices can be obtained for other units of measurement that are now used in the NDC tools. At the same time, the use of binary data representation is much more effective precisely in systems based on machine learning methods and intelligent technologies for

data analysis, which was previously shown in (Dolezel, 2016: 1–6; Lakhno, 2016: 32–44; Lakhno, 2016: 18; Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432; Giantomassi, 2015: 1770–1780).

In the DSS training mode as a part of ADS, a binary matrix OUFT is formed over a period of time  $\tau$ , which is fed to the input of the DSS software component module responsible for the ADS training procedure. Note that the formation of OUFT should occur for a predetermined level of confidence to the generated OUFT matrices. Many works in the field of machine learning systems have been devoted to this issue (Jin, 2009: 8–25; Lakhno, 2016: 18; Dovbish, 2009: 17; Giantomassi, 2015: 1770–1780).

Figure 3 shows the process of forming the structure of the matrix used for training ADS. Moreover, the formation of the structure occurs in stages, including the vectors of realizations  $\{cl_1^{(j)}\} \in CL_1^0$  and  $\{cl_2^{(j)}\} \in CL_2^0$ , respectively (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432).

To create such a matrix, only the important characteristics of FDO should be selected. That is, the characteristics that uniquely distinguish some realizations of features of faults or anomalies in the operation of SCA within the class from others.

All possible values of each FDO property can be encoded in binary form (Giantomassi, 2015: 1770–1780), or using non-negative integers (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432), where zero corresponds to an undefined value of the FDO property. This, in particular, makes it possible to take into account the missing, new, or not yet provided values of the FDO properties.

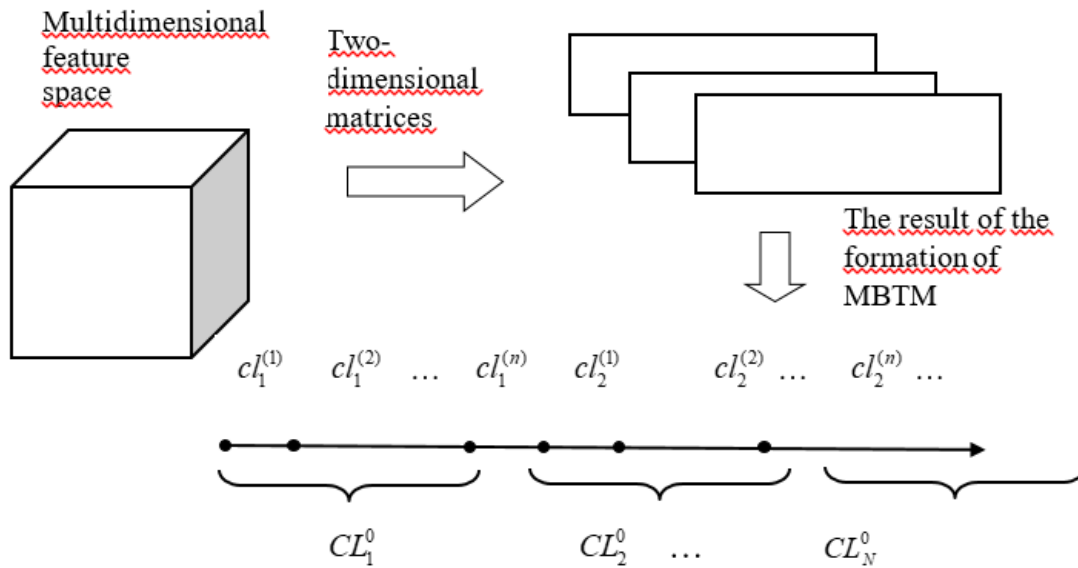


Fig. 3. Scheme of work with the multidimensional information space of the realizations of features of FDO ADS for the railway rolling stock

As an illustration, Table 1 shows an example of the process of forming a binary matrix and, accordingly, clustering the realizations of features in the process of detecting SCA using NDC tools based on the acoustic control of the components of the railway rolling stock (Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432; Giantomassi, 2015: 1770–1780).

This effect is used in various devices that make it possible to implement acoustic control of rolling stock components and assemblies, see Figure 4.

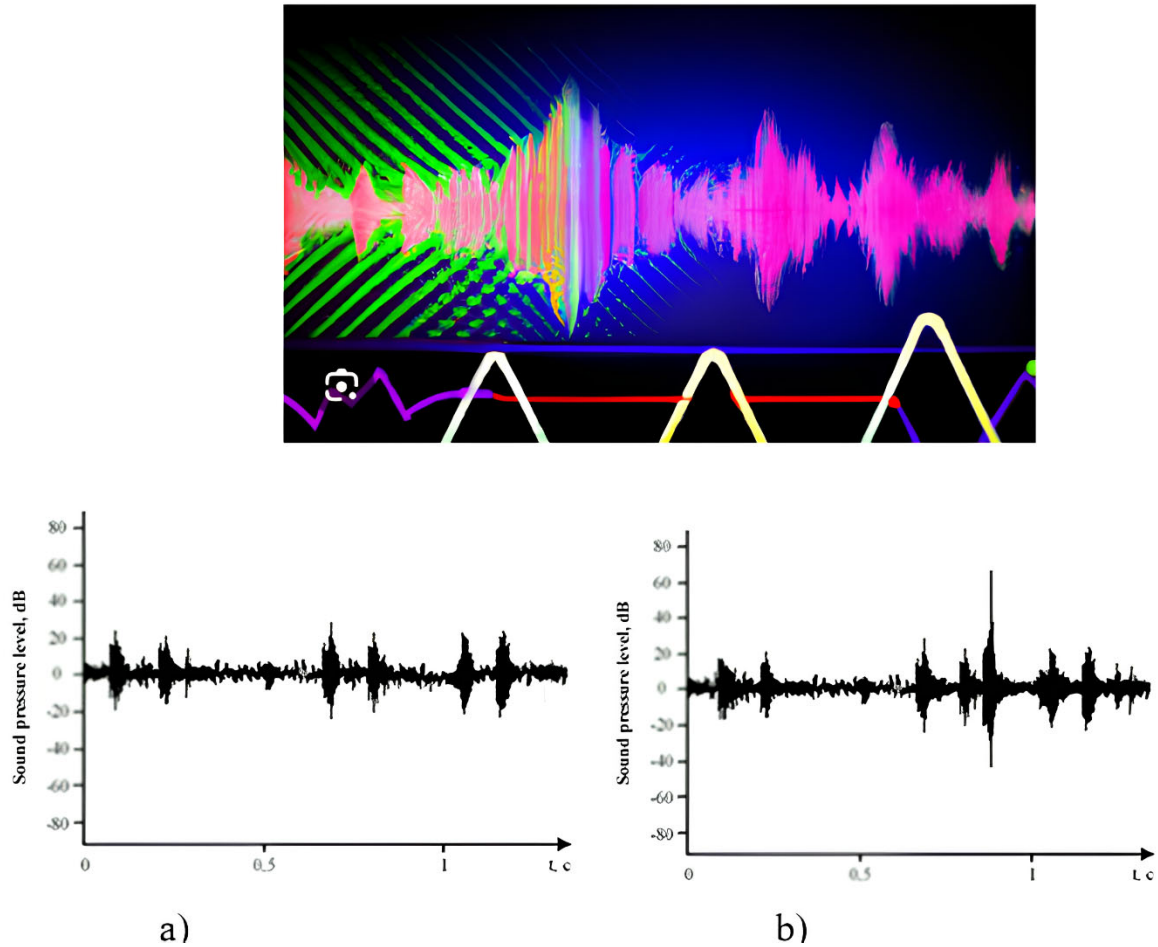
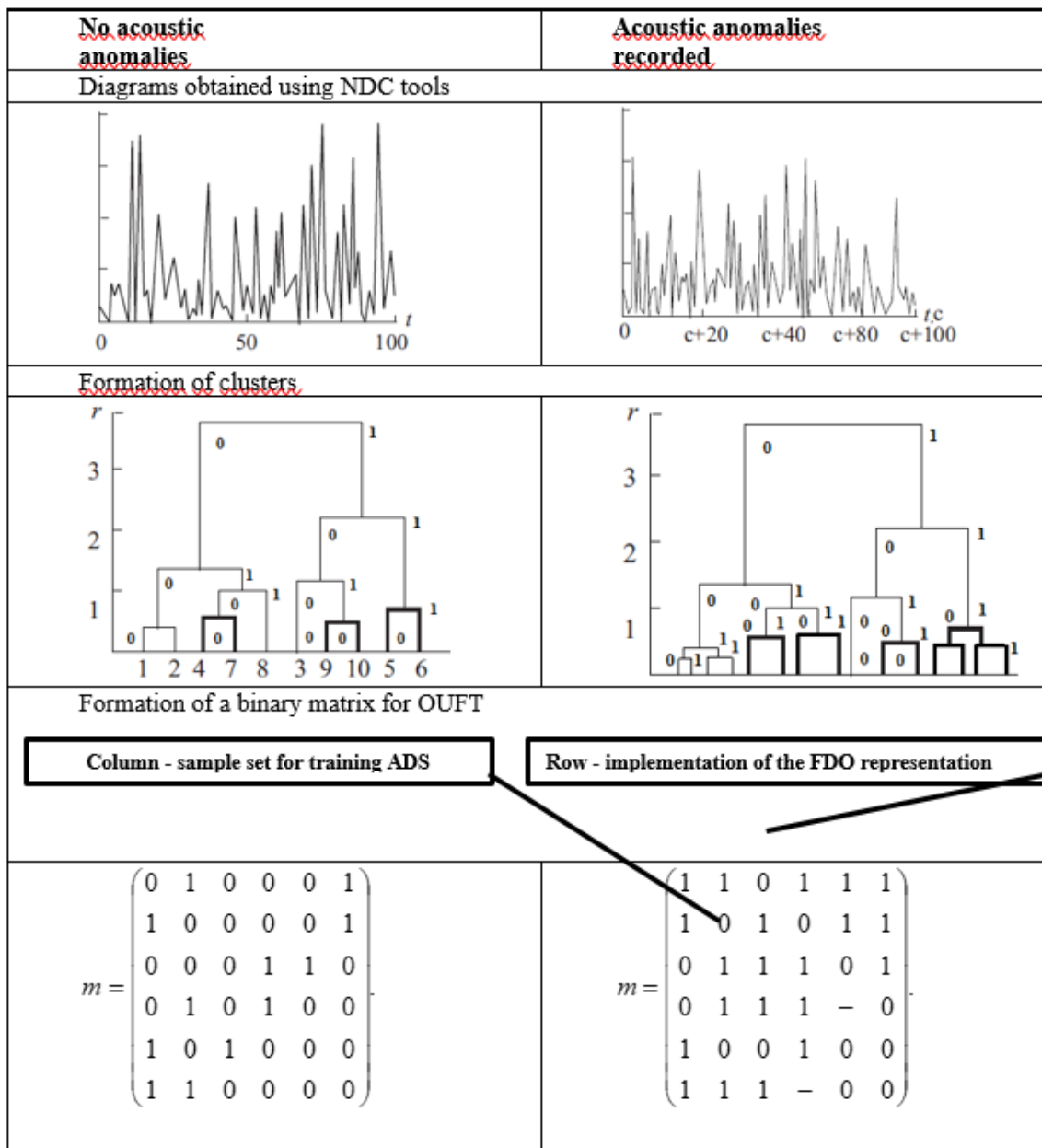


Fig. 4. Fragment of the automatic analysis of the sound accompanying the passage of the rolling stock of the undamaged (a) and damaged (b) rolling surface of the wheelset of the railway rolling stock

Eddy current NDC is widely used in various branches of the scientific and industrial complex of Kazakhstan and other countries, due to the high efficiency and reliability of solving problems of flaw detection, quality control of materials and products, determination of parameters and characteristics of objects of control for various purposes (Lakhno, 2016: 32–44; Lakhno, 2016: 18; Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432).

Table 1. An example of the formation of clusters and a binary matrix for OUFT for detecting the state of the rolling surface of a wheelset of the railway rolling stock (Fig. 4).



By combining the data into compact clusters, it is possible to analyze the typical representatives of each cluster and decide whether such data is a realization of a feature of a fault or anomaly in the operation of the SCA or not. Then this solution is transferred to all representatives of the studied cluster. This approach significantly reduces the amount of information required for the successful classification of FDO.

Since clusters can take complex forms in the multidimensional space of feature realizations, some authors have proposed various algorithms for clustering feature realizations. So, for example, in the works listed below, the application of the methods and algorithms K-means, DBSCAN, FDBSCAN (Lakhno, 2017: 5778–5786; Dovbish, 2009: 17; Zhang, 2015: 419–432), etc. is described, see Figure 5.

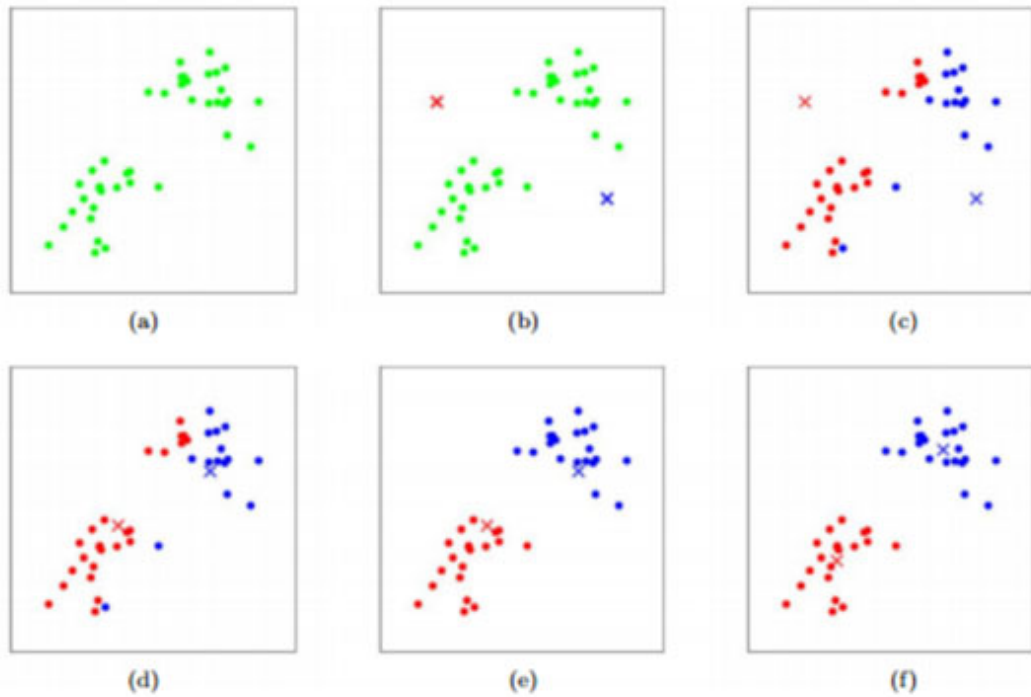


Fig. 5. Examples of data clustering based on DBSCAN and K-means algorithms in diagnostic systems

It was shown that the computational complexity of algorithms used in a binary space for realizations of the detection features of SCA (BSFR) of the corresponding class (classes) depends on the optimal container shape for the corresponding class of the object of detection.

After the formation of binary matrices that are used as objects in the process of learning of the automated system for diagnostics (detection) anomalies and failures in the operation of nodes and aggregates of the rolling stock, there are created binary trees of anomalies or failures signs clustering, see Fig. 6,7.

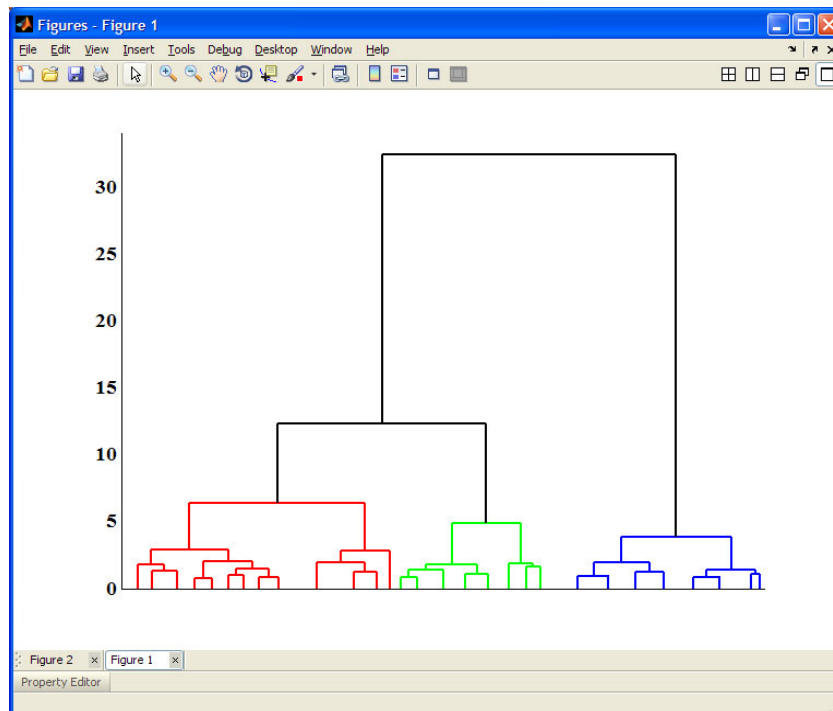


Fig. 6. Normal behavior of the detected nodes and aggregates of the railway transport rolling stock

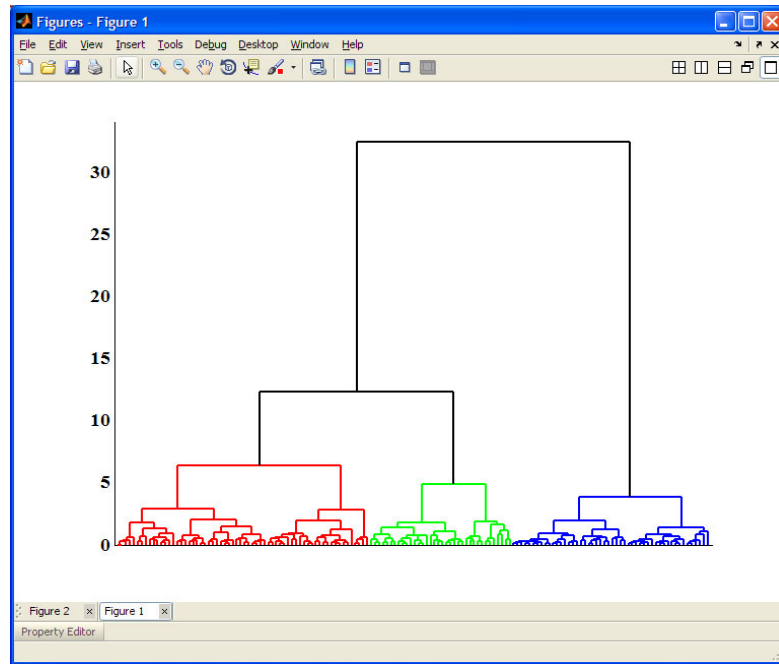


Fig. 7. Anomalies or failures signs clustering of the detected nodes and aggregates of the railway transport rolling stock

**Conclusion.**

In this case, the amount of recognition signs varied within  $N=9-15$ . The optimal amount of clusters was selected at the maximum values of ICFE. As the analysis of the results showed the optimal amount of clusters is equal to  $C=3$ .

Figure 4 shows a histogram of the dependence of the ICFE value for variants of the dictionaries of the anomalies and failures signs of nodes and aggregates from the amount of steps of the SADS learning algorithm  $\{w\}$ , shows the dependence of ICFE from the amount of signs used to train the system for failure diagnostics and detection.

Analysis of simulation results showed that the use of an algorithm with 5–10 signs of learning is quite effective in SADS. That is, for this case, the ICFE reaches its maximum value. This, in turn, indicates the possibility of creation error-free decision rules in failure diagnostics and detection.

In the SADS testing mode a sufficient amount of steps  $\{w\}$  for accurately determination of anomalies and failures classes were  $w=2500-3000$

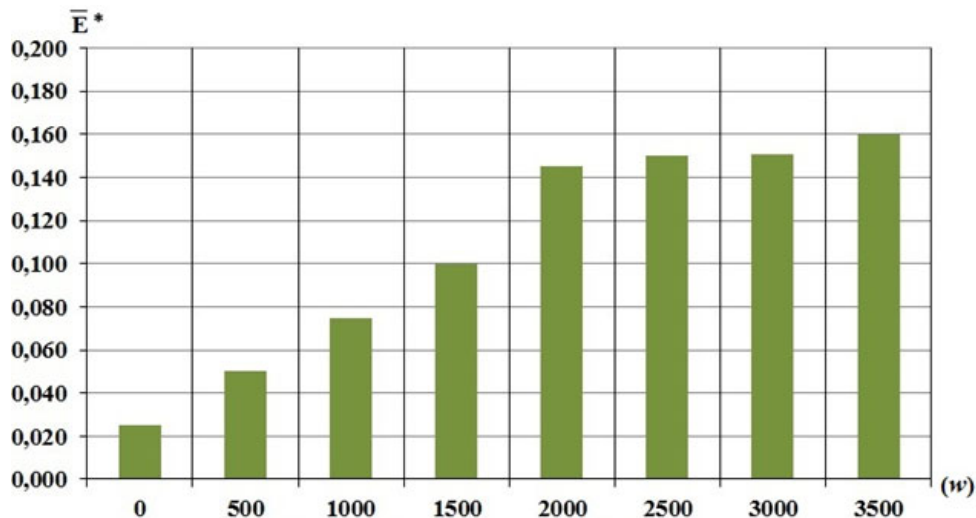


Fig. 8. Dependence of the max ICFE value for variants of the dictionary of anomalies and failures signs of nodes and aggregates of the simulated railways transport systems

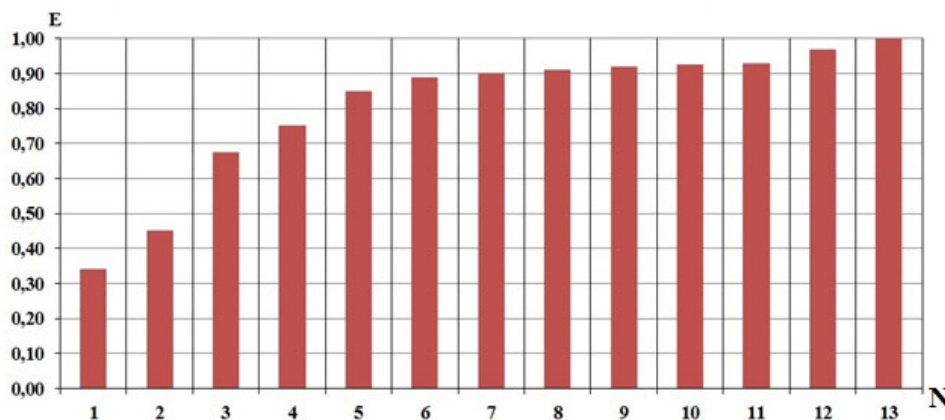


Fig. 9. Diagram of the dependence of ICFE from the amount of signs realizations used for SADS

In the situations when during the simulation process and at the creation of an algorithm for recognizing anomalies and failures of nodes and aggregates of railway transport there were added representative sets of greater length, the efficiency of the algorithm was the same. Adding representative sets of shorter length reduced the efficiency of the algorithm.

The article proposes clarifications and additions to the machine learning method of the automatic detection system (ADS) of the functional state of components and assemblies of railway transport. As well as the corresponding model and machine learning algorithm, which, in contrast to existing solutions, are implemented by parallel optimization of control permissions for the features of fault recognition of SCA. Such a solution allows, in the future, to create effective decision rules for intelligent decision support systems (DSS) and ADS of faults and for diagnostics of the state of components and assemblies of railway transport.

#### REFERENCES

- Schickert, 2005 — Schickert M. Progress in ultrasonic imaging of concrete // *Materials and Structures*. — 2005. — 38(9). — Pp. 807–815. [Eng.]
- Aydin, 2012 — Aydin I., Karaköse M., Akin E. A new contactless fault diagnosis approach for pantograph-catenary system // *Mechatronika, 2012 15th International Symposium*. — 2012. — Pp. 1–6. [Eng.]
- Le Mortellec, 2013 — Le Mortellec A., Clarhaut J., Saliez Y., Berger T., Trentesaux D. Embedded holonic fault diagnosis of complex transportation systems // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. — 2013. — 26(1). — Pp. 227–240. [Eng.]
- Papaelias, 2008 — Papaelias Ph., Roberts C., Davis C. L. A review on non-destructive evaluation of rails: state-of-the-art and future development // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. — 2008. — 222(4). — P. 367–384. [Eng.]
- Jin, 2009 — Jin X. S., Guo J., Xiao X. B., Wen Z. F., Zhou Z. R. Key scientific problems in the study on running safety of high speed trains // *Engineering Mechanics*. — 2009. — 26(Sup II). — Pp. 8–25. [Eng.]
- Mariani, 2011 — Mariani L., Pastore F., Pezze M. Dynamic analysis for diagnosing integration faults // *IEEE Transactions on Software Engineering*. — 2011. — 37(4). — Pp. 486–508. [Eng.]
- Huang, 2013 — Huang Y. C., Sun H. C. Dissolved gas analysis of mineral oil for power transformer fault diagnosis using fuzzy logic // *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. — 2013. — 20(3). — Pp. 974–981. [Eng.]
- Orbán, 2009 — Orbán Z., Gutermann M. Assessment of masonry arch railway bridges using non-destructive in-situ testing methods // *Engineering Structures*. — 2009. — 31(10). — Pp. 2287–2298. [Eng.]
- Yella, 2006 — Yella S., Dougherty M. S., Gupta N. K. Artificial intelligence techniques for the automatic interpretation of data from non-destructive testing // *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. — 2006. — 48(1). — Pp. 10–20. [Eng.]
- Bhowmik, 2013 — Bhowmik P. S., Pradhan S., Prakash M. Fault diagnostic and monitoring methods of induction motor: a review // *International Journal of Applied Control, Electrical and Electronics*. — 2013. — 1. — Pp. 1–18. [Eng.]
- Dolezel, 2016 — Dolezel P., Skrabanek P., Gago L. Pattern recognition neural network as a tool for pest birds detection // *Computational Intelligence (SSCIIEEE Symposium Series on)*. — 2016. — Pp. 1–6. [Eng.]
- Lakhno, 2016a — Lakhno V., Tkach Y., Petrenko T., Zaitsev S., Bazylevych V. Development of adaptive expert system of information security using a procedure of clustering the attributes of anomalies and cyber attacks // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2016. — 6(9). — Pp. 32–44. [Eng.]
- Lakhno, 2016b — Lakhno V. Creation of the adaptive cyber threat detection system on the basis of fuzzy feature clustering // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2016. — 2(9). — P. 18. [Eng.]
- Lakhno, 2017 — Lakhno V. A., Kravchuk P. U., Malyukov V. P., Domrachev V. N., Myrutenko L. V., Piven O. S. Developing of the cyber security system based on clustering and formation of control deviation signs // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. — 2017. — 95(21). — Pp. 5778–5786. [Eng.]

- Dovbish, 2009 — Dovbish A. S. Osnovi proektuvannja intelektual'nih sistem. — Sumi: SumDU, 2009. — 171 p. [Rus.]
- Zhang, 2015 — Zhang X., Feng N., Wang Y., Shen Y. Acoustic emission detection of rail defect based on wavelet transform and Shannon entropy // Journal of Sound and Vibration. — 2015. — 339. — Pp. 419–432. [Eng.]
- Giantomassi, 2015 — Giantomassi A., Ferracuti F., Iarlori S., Ippoliti G., Longhi S. Electric motor fault detection and diagnosis by kernel density estimation and Kullback–Leibler divergence based on stator current measurements // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — 2015. — 62(3). — Pp. 1770–1780. [Eng.]

## GENERAL PRINCIPLES OF SYNTHESIS OF THE ALGORITHMIC STRUCTURE OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

*T. Sultangazinov, B. Terekbaev\*, M. Orynbekov, A. Turebekova*  
International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz)

**Suleymen Sultangazinov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Berikkazy Terekbaev** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

**Mubarek Orynbekov** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz](mailto:orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

**Altynkul Turebekova** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [turebekova.altynkul@mtgu.edu.kz](mailto:turebekova.altynkul@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© S. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova

**Abstract.** Automatic control systems play a key role in modern engineering and industrial processes. They enable precise and reliable regulation of object behavior, improving efficiency, safety, and performance. This study examines the theoretical foundations of automatic control, methods of system synthesis, and their practical application in industrial and transportation sectors. The main goal of this research is to study methods for designing and synthesizing automatic control systems and analyze their stability, controllability, and observability. Objectives: review the theoretical foundations of automatic control; investigate methods for mathematical modeling and determination of algorithmic system structure; test theoretical results on practical examples; evaluate prospects for implementing automatic systems in various fields. The study identified key principles of designing algorithmic and functional structures of automatic systems. The advantages of digital control systems, including accuracy, flexibility, and integration with computational tools, were confirmed. Methods for system synthesis were proposed, and performance indicators such as stability, controllability, and observability were analyzed. The results confirmed the reliability of mathematical methods in designing automatic systems. The research deepens the understanding of automatic control theory and confirms the practical applicability of modern synthesis methods. Future prospects include integrating artificial intelligence for adaptive control, synthesizing multi-loop systems, and developing simulation models for predicting system performance. The results can be used to improve automation efficiency in industrial, transportation, and telecommunication applications

**Keywords.** Automatic regulation system, executive structure, automatic control system, modular rationality, symmetric rationality, proconic-integral, automatic control system of the technological process

**For citation:** S. Sultangazinov, B. Terekbaev, M. Orynbekov, A. Turebekova General principles of synthesis of the algorithmic structure of automated control systems//Industrial

Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 48–62. (In Kaz.).  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>

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

## АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ АЛГОРИТМДІК ҚҰРЫЛЫМ СИНТЕЗІНІҢ ЖАЛПЫ ҚАҒИДАЛАРЫ

*С. Султангазинов, Б. Терекбаев\*, М. Орынбеков, А. Туребекова*

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

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

**Сулеймен Султангазинов** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Берикказы Терекбаев** — техника ғылымдарының кандидаты, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

**Мубарек Орынбеков** — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz](mailto:orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

**Алтынкуль Туребекова** — аға оқытушы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz](mailto:turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова

**Аннотация.** Автоматты басқару жүйелері қазіргі техника мен өндірісте маңызды рөл атқарады. Олар объектілердің жұмысын дәл және сенімді түрде реттеуге мүмкіндік береді, өндіріс тиімділігін арттырады және қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Бұл зерттеу автоматты басқару теориясын, жүйелерді синтездеу әдістерін және олардың өнеркәсіп пен көлік саласында практикалық қолдану мүмкіндіктерін қарастырады. Зерттеудің негізгі мақсаты – автоматты басқару жүйелерін жобалау және синтездеу әдістерін зерттеу, олардың тұрақтылығы, басқарылуы және бақылануын талдау. Міндеттері: автоматты басқару теориясының негіздерін қарастыру; жүйелерді математикалық модельдеу және алгоритмдік құрылымын анықтау әдістерін зерттеу; теориялық нәтижелерді практикалық мысалдарда тексеру; автоматты жүйелерді әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндіктерін бағалау. Зерттеу барысында автоматты жүйелердің алгоритмдік және функционалдық құрылымын жобалаудың негізгі принциптері анықталды. Сандық басқару жүйелерінің дәлдігі, икемділігі және есептеу құралдарымен интеграция мүмкіндігі расталды. Автоматты жүйелерді синтездеудің тиімді тәсілдері ұсынылып, олардың тұрақтылығы, басқарылуы және бақылану көрсеткіштері талданды. Зерттеу автоматты басқару теориясын тереңдетуге үлес қосып, практикалық қолдану мүмкіндіктерін растады. Болашақта жасанды интеллект әдістерін интеграциялау, көпконтурлі жүйелерді синтездеу және симуляциялық модельдер арқылы жүйелердің жұмысын болжау перспективалары бар. Нәтижелер өнеркәсіптік, көліктік және телекоммуникациялық салаларда автоматтандыруды жетілдіруге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер.** Автоматты реттеу жүйесі, ақарушы құрылым, автоматты басқару жүйесі, модульдік ұтымдылық, симметриялық ұтымдылық, пропорционды-интегралды, технологиялық үдерісті автоматты басқару жүйесі

**Дәйексөздер үшін:** С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова. Автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылым синтезінің жалпы

қағидалары//Қазақстан өндіріс келігі. 2024. Том. 21. № 81. 48–62 бет. (Қаз. тіл.).  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>

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

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*С. Султангазинов, Б. Терекбаев\*, М. Орынбеков, А. Туребекова*

Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

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

**Сулеймен Султангазинов** — д.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Берикказы Терекбаев** — ст. преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz](mailto:terekbaev.berikkazy@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0007-5794-0166>;

**Мубарек Орынбеков** — ст. преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz](mailto:orynbekov.mubarek@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-2767-2782>;

**Алтынкуль Туребекова** — преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz](mailto:turbekova.altynkul@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>.

© С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова

**Аннотация.** Автоматические системы управления играют ключевую роль в современной технике и производстве. Они позволяют точно и надежно регулировать работу объектов, повышая эффективность и безопасность процессов. В данном исследовании рассматриваются теоретические основы автоматического управления, методы синтеза систем, а также их практическое применение в промышленности и транспортной сфере. Цель исследования – изучение методов проектирования и синтеза автоматических систем, анализ их устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Задачи: изучить теоретические основы автоматического управления; исследовать методы математического моделирования и определения алгоритмической структуры систем; проверить применимость теоретических результатов на практических примерах; оценить перспективы внедрения автоматических систем в различные сферы. В ходе исследования были выявлены основные принципы проектирования алгоритмической и функциональной структуры автоматических систем. Подтверждена эффективность цифровых систем управления в плане точности, гибкости и интеграции с вычислительными средствами. Проведен анализ синтеза систем, оценены показатели устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Полученные результаты подтвердили надежность математических методов для проектирования автоматических систем. Исследование позволило углубить понимание теории автоматического управления и подтвердило практическую применимость современных методов синтеза. Перспективы дальнейшей работы включают интеграцию методов искусственного интеллекта для адаптивного управления, синтез многоконтурных систем и создание симуляционных моделей для прогнозирования работы систем. Результаты могут быть использованы для повышения эффективности автоматизации в промышленности, транспортной и телекоммуникационной сферах.

**Ключевые слова:** система автоматического регулирования, исполнительная структура, система автоматического управления, модульная рациональность, симметричная

рациональность, пропорционно-интегральная, система автоматического управления технологическим процессом

**Для цитирования:** С. Султангазинов, Б. Терекбаев, М. Орынбеков, А. Туребекова. Общие принципы синтеза алгоритмической структуры систем автоматического управления//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. №. 81. Стр. 48–62. (На каз.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.004>.

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

### **Кіріспе.**

Автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеу» тақырыбы таңдалды, себебі қазіргі уақытта басқару жүйелерін жобалау әдістері объектінің инерциялық қасиеттерін, кешігулерін және сыртқы әсерлерді толық ескере бермейді (Султангазинов, 2009: 50–65). Автоматты басқару – адамның қатысуынсыз жүзеге асатын іс-шаралар жүйесі болып табылады, ол техника мен технологиялық процестерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді (Вавилов, 1981: 30–55). Заманауи техникалық құрылымдар (ұшақтар, станоктар, роботтық жүйелер) және тірі жүйелерде (адамдар ұжымы, жануарлар) басқарудың автоматтандырылған формалары ерекше маңызға ие (Бесекерский, 1975: 12–20).

Автоматты басқару жүйелерін жобалау мен синтездеудің өзектілігі теориялық және практикалық бағытта көрінеді. Теориялық тұрғыдан, қазіргі қолданыстағы әдістер объектінің барлық динамикалық қасиеттерін есепке ала бермейді, әсіресе кешігулер мен сыртқы возмущениялар болған жағдайда. Практикалық мәні – өндіріс, авиация, энергетика және көліктік жүйелерде автоматты басқарудың жоғары дәлдігі мен орнықтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Зерттеу объектісі – инерциялық қасиеттері және кешігулері бар автоматты басқару жүйелері. Бұл объектілерге классикалық машиналардан бастап, заманауи роботтық жүйелерге және күрделі технопроцестерге дейінгі техникалық құрылымдар жатады.

Зерттеу пәні – автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік және функционалдық құрылымдары, яғни жүйенің ішкі элементтерін ұйымдастыру, олардың өзара байланысын және берілген сапа көрсеткіштерін орындау әдістерін зерттеу.

Зерттеудің негізгі мақсаты – объектінің инерциялық қасиеттерін, кешігулерін және сыртқы әсерлерін ескере отырып, автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеудің тиімді әдістемесін әзірлеу. Бұл мақсатқа жету арқылы жүйелердің тұрақтылығы, дәлдігі және сапалық көрсеткіштері қамтамасыз етіледі.

Зерттеу міндеттері:

- Автоматты басқару жүйелерін синтездеудің теориялық негіздерін зерттеу;
- Қазіргі алгоритмдік және функционалдық құрылымдардың тиімділігін талдау;
- Идеалды тұйықталған және комбинирленген басқару жүйелерін құру әдістерін әзірлеу;
- Инженерлік практикада қолдануға болатын нақты конструктивтік элементтерді таңдау және олардың параметрлерін есептеу;
- Алынған алгоритмдік құрылымдардың компьютерлік модельдеу арқылы тиімділігін бағалау;
- Алынған нәтижелерді өндірісте және практикалық жүйелерде қолдану мүмкіндігін қарастыру.

Зерттеу әдістері: Зерттеуде математикалық модельдеу, жүйелерді талдау, алгоритмдік және функционалдық құрылымдарды синтездеу әдістері қолданылады. Сонымен қатар, компьютерлік модельдеу арқылы жүйелердің динамикалық қасиеттері, инерциялары мен кешігулері ескеріле отырып, тәжірибелік тексерулер жүргізіледі.

Зерттеу гипотезасы: Объектінің инерциясын, кешігулерін және сыртқы возмущенияларын ескере отырып әзірленген комбинирленген алгоритмдік құрылымдар автоматты басқару жүйелерінің дәлдігі мен орнықтылығын арттырады деп болжанады.

Ғылыми және практикалық мәні: Ғылыми мәні – автоматты басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарын синтездеу әдістемесін жетілдіру. Практикалық мәні – өндірісте, авиацияда, энергетикада және көліктік жүйелерде автоматты басқару жүйелерін жобалау кезінде дәлдік, орнықтылық және сапалық көрсеткіштерді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

#### **Материалдар мен әдістер.**

Адамның қатысуынсыз іске асатын басқару автоматты басқару деп аталады (Бесекерский, 1975: 12–45). Жаттығу жұмыстары орындаулар мақсат реттеуді тап қалған сапаға үздіксіз әсердің басқару жүйелерінің құрылымдық синтезі үшін басқаруды теорияның теориялық жағдайларының қолдануы болып табылады (Бесекерский, 1976: 125; Болнокин, Чинаев, 1986: 12–47). Жаттығу жұмыстары қолданбалы сипатта болады және инженерлік тәжірибеде техникалық есептің анализін жасау кезеңінде қолданылуы мүмкін, АРЖ талаптарды өндіру және берілген жылдамдық, дәлдік және қайта реттеу бойынша тиісті сапа көрсеткіштерімен жұмыстың орнықтылығын қамтамасыз етуі үшін оның динамикалық үзбелерінің параметрлерін қолдану (Вавилов, 1981: 13–30; Воронов, 1980: 14–55).

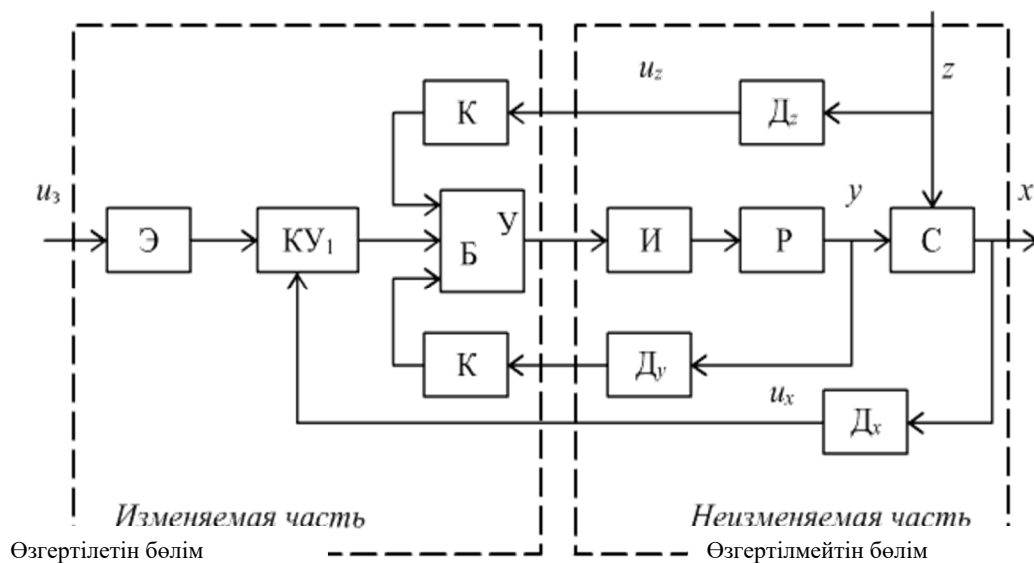
Автоматты басқару теориясындағы математикалық есептер талдау және автоматты жүйелердің синтезінің есептерінен тұрады. Талдау есебінде түгелімен жүйенің құрылымы белгілі, жүйенің барлық параметрлері берілген, және оның бір статикалық немесе динамикалық қасиетін бағалау қажет. Синтездің есептерін талдаудың кері есептері сияқты қарауға болады, өйткені оларда берілген сапа көрсеткіштері бойынша құрылымды және жүйенің параметрлерін анықтау керек. Мысалы, синтездің ең оңай есептері интегралды қатенің тап қалған қатеге немесе минимумы бойынша тұйықталмаған контурдың беріліс коэффициентін анықтайтын есептер болып табылады (Иващенко, 1979: 14–54).

Автоматты жүйенің синтезі деп құрылымды процедурасын және жүйенің параметрлерін берілген сапа көрсеткіштері бойынша анықтауды атайды (Кочетков, 1964: 18–19). Синтез жобалау және жүйені құрастырудағы ең маңызды кезең болып табылады. Жүйені жобалауда алгоритмдік және функционалды (толық синтездің есебі) құрылымды анықтау керек. Жүйенің алгоритмдік құрылымдарын (немесе оның бөлігін) айқын математикалық формада жазылған талаптар негізінде математикалық әдістер көмегімен табады. Сондықтан алгоритмдік құрылымды іздеп табудың процедурасын теориялық синтез немесе басқару жүйесінің аналитикалық құрастырулары деп атайды (Красовский, 1962: 19–28).

Функционалды құрылымның синтезі немесе жүйенің техникалық синтезі нақты элементтердің таңдауында болады (Султангазинов, 2004: 15–21; Султангазинов, 2009: 20–41). Жобалаудың бұл кезеңінде қатал математикалық негізі жоқ және инженерлік өнердің облысына жатады.

Толық синтездің есебінің шешімінің тізбегі әр түрлі болуы мүмкін. Кей қарапайым жағдайларда есепті идеалды тізбекте шешуге болады: алдымен математикалық әдістер көмегімен жүйенің алгоритмдік құрылымын анықтау қажет, содан кейін сәйкес конструктивті элементтерді таңдау керек (Султангазинов, 2022: 65; Султангазинов, 2021: 16). Күрделі жағдайларда конструктивті элементтерді таңдап алу қиындықтарға әкелуі мүмкін, өйткені басқару құралдарының шектелген номенклатурасында қажет алгоритм қасиеттері бар құрылымдар болмауы мүмкін. Сондықтан синтездің есебін көптеген жағдайларда келесі түрде шешеді: бастапқыда, сериялы жабдықтың тізбелері бойынша жүйенің функционалды қажет элементтерін: (РО) реттейтін орган, (АК) атқарушы құрылым, (Д) датчиктерді оның жұмысының шартын есепке ала отырып және жүйенің тағайындалуының талаптарына сүйене отырып таңдайды. Бұл элементтер басқару

объектісімен бірге жүйенің өзгермейтін бөлігін құрайды (Султангазинов, 2004: 15–34; Султангазинов, 2009: 20–41).



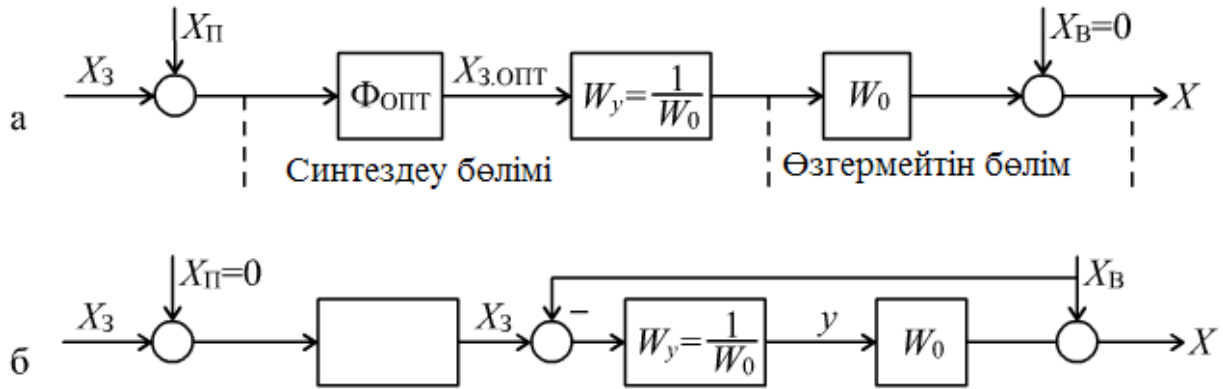
1-сур. Синтезделетін жүйенің функционалды құрылымы

Содан соң талаптар негізінде статикалық және динамикалық қасиеттерімен өзгеретін бөлігін анықтайды, оған күшейткіш – түрлендіретін блок (УБ) және әр түрлі түзететін (КУ) құрылымдар кіреді (Бесекерский, 1975: 10–22; Болнокин, 1986: 17–33). Өзгеретін бөліктің алгоритмдік құрылымын қажетті таңдаулы функционалды элементтер қасиеттерін есепке алып табады, бұл бөліктің техникалық іске асыруы үйреншікті унифицирленген реттеушілер және әр түрлі түзететін және орнын толтыратын құрылымдардың қолдануымен іске асады. Осылайша, барлық жүйенің алгоритмдік және функционалды құрылымдарын анықтау үрдістері бір-бірімен тығыз байланысты.

Басқару жүйесінің жобалауының қорытынды кезеңдері параметрлік тиімділік болып табылады – таңдаулы реттеушінің бейімдеуші параметрлерінің есептелуі. Синтез есебінің шешімдерін жасағаннан кейін әдетте синтезделген жүйенің анализін жасайды: қажетті дәлдік, орнықтылық және сапа көрсеткіштеріне ие болуын тексереді (Иващенко, 1979: 20–44).

Синтез және жүйелерді талдаудың барлық кезеңдерінде ЭЕМ қолдану орынды. ЭЕМде жүйелердің пішінуі, құрылымдар және параметрлердің варианттарының үлкен санын зерттеп, синтез есебінің шешімін үдетуге мүмкіндік береді (Кочетков, Половко, Понамарев, 1964: 12–49).

Жүйенің идеалды құрылымы. Алгоритмдік құрылым синтезінің есебін шешу үшін басқару объектісінің  $W_0(p)$  беріліс функциясы, объектінің кіріс және шығысында жұмыс істейтін қоздырулар  $y_g$  және  $x_g$  және сонымен бірге тапсырма және өлшеу каналдарында пайда болатын  $x_n$  бөгеуілдер белгілі болуы керек. 2, а, б суреттерінде анық көрсетілген.



2-сур. Идеалды тұйықталмаған жүйенің алгоритмдік құрылымы

Ең оңай жағдайда объектіде қоздырушы әсерлер болмағанда, басқаруды тұйықталмаған схема (2-ші сурет) бойынша жүзеге асыруға болады. Егер басқарылатын құрылғының беріліс функциясын  $W_y(p)$

$$W_y(p) = 1/W_0(p) \quad (1)$$

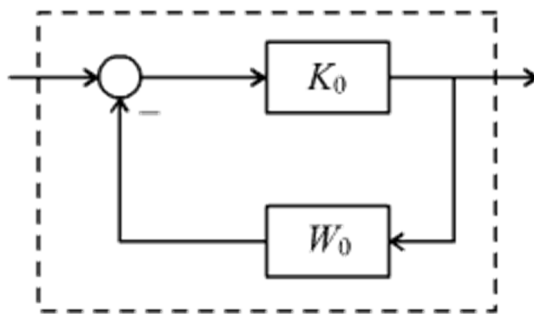
тең деп алсақ, онда объектінің инерциялығының толық (құрылымдық) өтемі қамтамасыз етіледі және басқару жүйесі объектінің шығысында тез берілетін әсерді  $x_{3.опт}$  шығарады.  $x_{3.опт}$  тапсырмасы  $\Phi_{опт}(p)$  беріліс функциясы бар арнайы сүзгісімен қалыптасады, ол былайша таңдалады, сүзгі барлық құралған  $x_3$  сигналдарды жақсы өткізу керек және  $x_n$  бөгеуіл басым болмауы керек (Болнокин, Чинаев, 1986: 127; Султангазинов, 2009: 151).

Егер объектіге өлшенетін  $x_g$  қоздыру әсер етсе, онда теория жағынан қоздырудың толық өтеуімен идеалды тұйықталмаған басқару жүйесін синтездеуге болады (2-ші сурет, б). Объектінің толық өтелу инерттілігін қамтамасыз ететін беріліс функциясы (1)  $x_g$  қоздырудың өтеуіне де жақсы болып келеді. (1) шарттарды орындағанда шынымен де әрдайым  $W_y(p)W_0(p) = 1$  тең, сондықтан да  $x_y$  объектінің шығысындағы пайдалы құраушысы  $x_g$  қоздыруына толығымен теңестіріледі.

АБЖ идеалды алгоритмдік құрылымын модельдеу кезіндегі негізгі қиындық объектінің кері беріліс функциясының іске асуы болып келеді. Объектінің кері беріліс функциясының моделі ретінде келесі үзбелердің қосылуын ұсынуға болады 3-ші суретте көрсетілген.

$k_0$  беріліс коэффициенті үлкен болғанда үзбелердің эквиваленті беріліс функциясының қосылулары келесі түрде болады

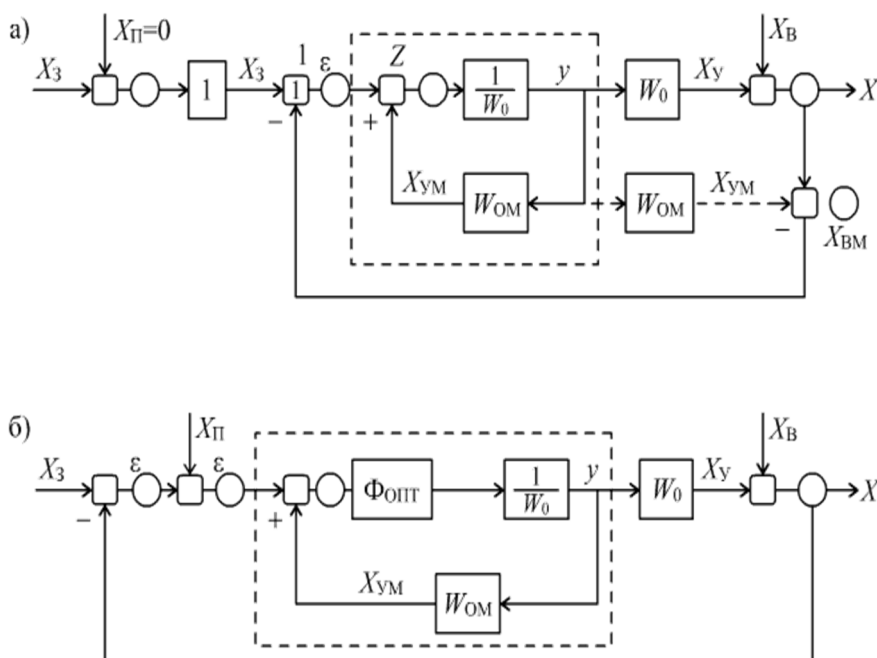
$$W(p) = k_0 / (1 + k_0 W_0(p)) \approx 1/W_0(p) \quad (2)$$



3-сур. Кері беріліс функциясының моделі  $1/W_0$  (Иващенко, 1979: 134)

Егер  $x_\varepsilon$  қоздыруды өлшеуге болмаса, онда идеалды тұйықталған жүйенің құрылымын табу үшін  $W_0(p)$  объектінің моделі көмегімен  $x_\varepsilon$  қоздырудың жанама ойын пайдалануға болады 4-ші. а-сурете көрсетілген.

4-сур. Идеалды тұйықталған жүйенің алгор



Анық, егер

$$W_{OM}(p) = W_0(p) \tag{3}$$

модельдің шығысында анықталатын сигнал

$$x_{\varepsilon M} = x - x_{yM} = (x_y + x_\varepsilon) - x_{yM} = x_\varepsilon \tag{4}$$

$x_\varepsilon$  жанама өлшенген қоздыру болса және оны 2-ші б суреттегі схемадағыдай  $1/W_0(p)$  беріліс функциясымен басқарылатын құрылғыға енгізгенде идеалды тұйықталмаған құрылымды жаңадан алуға болады. Оған құрылымдық түрлендіргіштер ережесі бойынша  $x_{yM}$  сигналын басқарушы құрылғының кірісіне ауыстыруға болады және екінші сумматорға салуға болады. Сонда басқарушы құрылғы  $1/W_0(p)$  ішкі оң кері байланыспен қамтылған болады, ал бірінші сумматордан кейінгі сигнал қатенің сигналына

$\xi = x_3 - x$  сәйкес келеді. Соңғысы жүйенің тұйықталғанын және беріліс функциясы бар болатын (штрих тік төртбұрыш) реттеуішімен кері байланысқан теріс қағидасына сәйкес жұмыс істейтін білдіреді:

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi(p)} = \frac{1/W_0(p)}{1 - W_{om}(p)/W_0(p)} \quad (5)$$

Модель мен объектінің дәл келсе реттегіш (5)  $k_p = \infty$  -мен пропорционалды түрінде жұмыс істейді, ол қоздыру және тапсырма арнасымен нолдік қателікке сай болып келеді. Жалпы жағдайда, егер  $x_g \neq 0$  және  $x_n \neq 0$  болса идеалды тұйықталған жүйенің алгоритмдік құрылымы (7.4-ші б сурет) жоғарыда түсіндірілген эвристикалық жолмен екі құрылымдардың белгілерін өз бойында тіркестіреді. Бұл идеалды құрылымда реттегіште ішкі оң кері байланыс,  $1/W_0$  үзбесі,  $W_{om}$  және оптималды сүзгі  $\Phi_{opt}$  болады (Бесекерский, 1976: 125). Идеалды тұйықталған реттегіштің беріліс функциясы

$$W_{pu}(p) = \frac{y(p)}{\xi_1(p)} = \frac{\Phi_{opt}(p)}{1 - \Phi_{opt}(p)} \cdot \frac{1}{W_0(p)} \quad (6)$$

$\Phi_{opt}(p)$  үзбесі сыртқы қоздырулардың ұтымды сүзгілеуді жүзеге асырады және  $x_{3.opt}$  ұтымды тапсырманы істеп шығарады.  $1/W_0(p)$  объектінің кері моделі оның инерциялылығының орнын толтырады, ал  $W_{om}(p)$  түзу моделі объектінің шығысындағы  $x_y$  құраушысын есептейді (Воронов, 1979: 167).

### Нәтижелер

Идеалды қосу жүйесімен бірге объектінің кері моделі түріндегісі басқару жүйесінің параметрлік және құрылымдық синтезінің принципиалды негізі болып келеді, ал тәсіл объектінің инерттілігін өтеу әдісі деп аталады.

Синтездеудің практикалық есептерінде көбінесе бөліктік (параметрлік) өту қолданылады - объектінің тұрақты уақыттарының бір екеуін жою (Красовский, Поспелов, 1962: 198). Ол үшін инерциаллық объектімен тізбектей

$$W_0(p) = k_0 / (T_{01}p + 1)(T_{02}p + 1) \dots (T_{0n} + 1), \quad (7)$$

мұндағы  $T_{01} > T_{02} > T_{03} > \dots > T_{0n}$  беріліс функциясымен бірінші-екінші реттік тіркейтін үзбені қосады

$$W_k(p) = k_k (T_{k1}p + 1)(T_{k2}p + 1), \quad (8)$$

Ол үшін  $T_{k1} = T_{01}$ ;  $T_{k2} = T_{02}$ ;  $k_k = 1/k_0$

Кешігуі бар объектіге арналған идеалды реттегіш. Кешігуі бар инертті объектілерге арналған идеалды реттегіштің құрылымын және беріліс функциясын анықтайық, оны қорытылған беріліс функциясымен сипаттауға болады:

$$W_0(p) = W'_0(p)e^{-p\tau_0} \quad (9)$$

Мұндағы  $W_0(p)$  - объектінің инерциялық бөлігін сипаттайтын бөлшекті – рационалды функция;  $\tau_0$  – объектінің таза кешігуі. Егер (9)-ды (6) қойсақ реттегіштің беріліс функциясында  $e^{+p\tau_0}$  көбейткіші пайда болады. Сондықтан да, шығарылған реттегіш құрылымын оңайту мақсатымен және оның техникалық іске асуын оңайту үшін идеалды жүйе кешігумен берілетін қоздыруды қосуға жол беру керек, яғни (Султангазинов, Наурызова, Рустамбекова, 2021: 164)

$$\Phi_{x_3}(p) = \Phi_{онт}(p) = \Phi'_{онт}(p)e^{-p\tau_0} \quad (10)$$

мұндағы  $\Phi'_{онт}(p)$  -  $x_3$  және  $x_n$  сигналдар үшін ұтымды сүзгі. Сонда сәйкес, кешігуі бар объекттер үшін идеалды реттеуішті аламыз

$$W_{pu}(p) = \frac{\Phi'_{онт}(p)}{1 - \Phi'_{онт}(p)e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W'_0(p)} \quad (11)$$

ол Ресквиктің реттеуіші деп аталады.

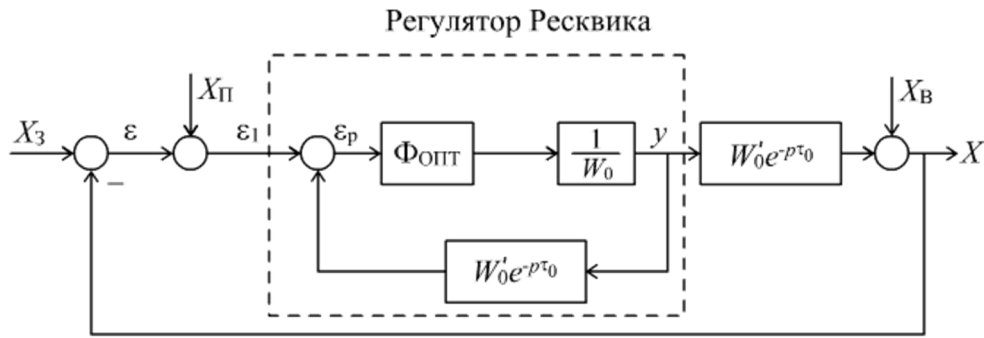
5-ші суретте көрсетілген құрылымға 11-өрнекке сәйкес келеді. Ресквик таза кешігуі бар үзбе реттеуішінің ішкі кері байланысы, объектінің шығысында  $y$  басқарылатын әсердің тағы бір өзгеруінен қандай сигнал пайда болуын болжайды. Өйткені бұл байланыстар оң, онда болжалатын сигнал оған тең объектінің нақты шығыс сигналына үнемі (бейтарап қалдырады) орнын толтырады. Қорытынды сигнал  $\xi_p$  тек қана алғашқы уақыт кезінде сыртқы әсерлер  $x_3$ ,  $x_n$  немесе  $x_g$  өзгерістерінен кейін шығады. Осылайша, негізгі контурдан таза кешігуі  $\tau_0$  шығарылады.

Ресквик реттеуішімен жүйенің елеулі кемшілігі оның объектінің кешігуінің аз вариацияларына сын көзімендігі болып табылады.

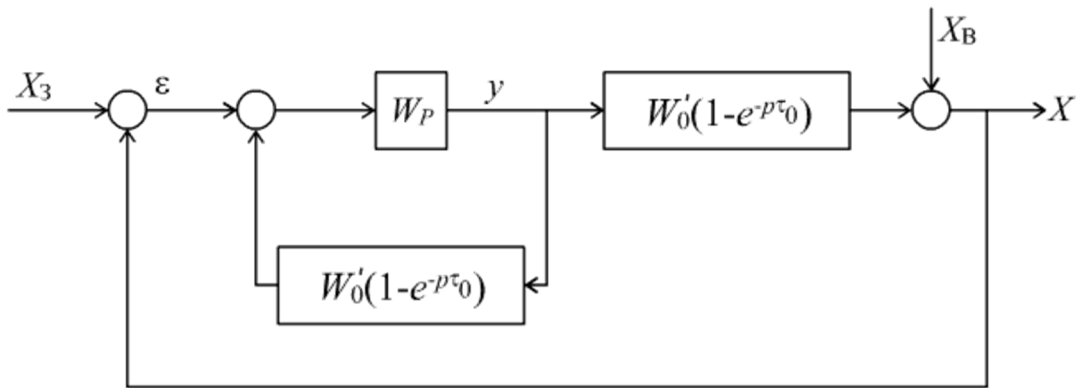
Объектінің кешігуін бейтараптандыру идеясын сонымен бірге бір үлгідегі реттеуіштерді қамтитын Смит упредителі арқылы жүзеге асырылады 7.6-шы суретте көрсетілген.

$(k_p \rightarrow \infty)$  үлкен беріліс коэффициентінде Смит упредителі бар реттегіші Ресквик реттегішіне  $\Phi_{онт} = 1$  эквивалентті болып келетініне көз жеткізуге қиын емес:

$$W_{\text{смит}}(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)W_0'(p)(1 - e^{-p\tau_0})} = \frac{1}{1/W_p(p) + W_0'(p)(1 - e^{-p\tau_0})} \approx \frac{1}{1 - e^{-p\tau_0}} \frac{1}{W_0'(p)} \quad (12)$$



5-сур. Ресквик реттегіш базасындағы кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы



6-сур. Смит упредителі негізінде кешігумен объектіні басқару жүйесінің идеалды құрылымы

Смиттің упредителімен жүйені жеңілдетуді техникалық тұрғыда жүзеге асыру оңайға соғады, өйткені объекттің кері беріліс функциясын модельдеуге керек болмайды.

Тұрақтанған және абайлаушы жүйелердегі инварианттылығының жүзеге асыруы. Автоматты жүйесінің синтезінің бас мақсаттарының бірі орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі тиісті дәлдігінің қамтамасыз етуі болып табылады. Орналастырылған тәртіптердегі жүйелерінің дәлдігі астатизмның реті және алшақ салынған нобайдың коэффициентін үлкейте жақсартуға болады. Сонымен бірге, әдеттегідей бірақ, орнықтылықтың қоры азаяды, тербелмелілік үлкееді және өтпелі тәртіптердегі жүйесінің дәлдігі азады. Орналастырылған және өтпелі тәртіптердегі дәлдігі шарттарының арасындағы қарама-қайшылықтарды жою тиімді құралымен инварианттылықтың жүзеге асыруы өтем сыртқы әсер жолымен қызмет көрсетеді.

"Инварианттылық" бір физикалық шаманың екіншісіне тәуелсіздігін білдіреді. АБТ-да шығыс (басқарылатын шама немесе қатенің сигналы) шамаларының кіріс әсерлерінен тәуелсіздіктерді қарайды. Тұрақтану жүйелердегі қоздырушы әсерден басқарылатын шаманың тәуелсіздіктерін алуға ұмтылады, абайлаушы жүйелерде - берілетін әсерден қате сигналының тәуелсіздігі.

АБЖ инварианттылық әсер бойынша басқару арқылы жетеді, басқарылатын әсер қоздыратын әсердің өзгеруіне байланысты құрылады. Егер қоздырушы әсер өлшенетін

болса, басқару принципі қолданылатыны анық. Қоздыру бойынша басқару принципті әдетте (құрамалы жүйе) ауытқулар бойынша басқарумен бірге қолданылады.

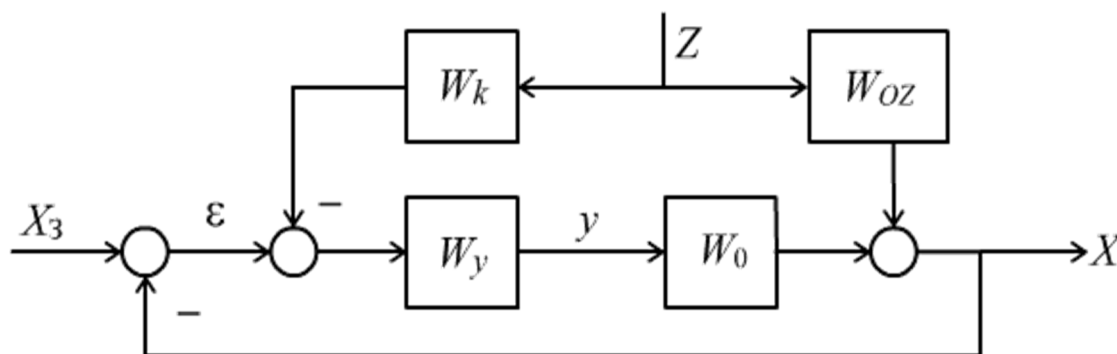
Тұрақты комбинирленген жүйенің алгоритмдік құрылымын қоздыру бойынша өтеуші байланыспен қарастыруға болады 7.7-ші суретте көрсетілген Өтеу байланысы шығыс шамасына таңбамен әсер етеді, ол әрдайым шығысқа қоздырудың әсерінің таңбасына кері болады. Қоздыру бойынша жүйенің беріліс функциясы

$$\Phi_{xz}(p) = \frac{x(p)}{z(p)} = \frac{W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (13)$$

мұндағы  $W_0(p)$  және  $W_{0z}(p)$  - сәйкесінше басқарушы және қоздырушы әсер бойынша объектінің беріліс функциялары;

$W_y(p)$  – бағдарлаушы құрылымның беріліс функциясы;

$W_k(p)$  - орнын толтыратын құрылымның беріліс функциясы.



7-сур. АБЖ аралас құрылымның басқару әсеріндегі байланыс компенсациясы

Басқарылатын шама  $x(t)$  қоздыруға  $z(t)$  тәуелді емес, егер (13) беріліс функциясы нөлге тең болса

$$\Phi_{xz}(p) = 0 \quad (14)$$

егер оның алымы нөлге тең болса бұл болуы мүмкін. Қоздыруға қарағанда тұрақтандырылатын шаманың инварианттылығының шарты осыдан

$$W_{0z}(p) - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (15)$$

15-шарт, қоздырушыдан  $x(t)$  шаманың тәуелсіздігінің табысы үшін қоздырушы  $z(t)$  бойынша жұмыс істеген екі параллель каналдардың динамикалық қасиеті бірдей болуы үшін керектігін білдіреді, өтейтін құрылымның беріліс функциясы.

$$W_k(p) = W_{0z}(p) / W_y(p)W_0(p) \quad (16)$$

Абайлаушы жүйелерде берілген қоздырудан кәте сигналының тәуелсіздігіне жету керек. Схемалар үшін 8-суретте әсермен  $x(t)$  және қатенің сигналы  $\xi(t)$  аралығында беріліс функция келтірілген:

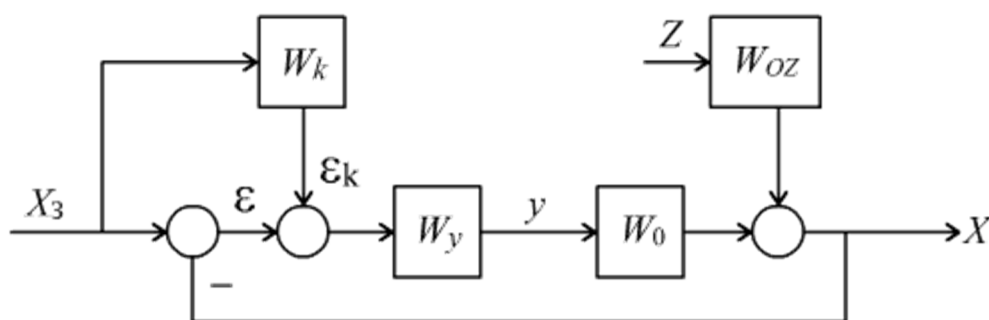
$$\Phi_{\xi_3}(p) = \frac{1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p)}{1 + W_y(p)W_0(p)} \quad (17)$$

17- функцияны нөлге теңестіре отырып берілген әсерге байланысты аңду қатесінің инварианттылығының шартын табамыз

$$1 - W_k(p)W_y(p)W_0(p) = 0 \quad (18)$$

бұдан өтуші құрылымның керекті беріліс функциясы шығады

$$W_k(p) = 1/W_y(p)W_0(p) \quad (19)$$



8-сур. Берілетін әсер бойынша өтеуші байланысымен АБЖ комбинирленген құрылымы.

### Қорытынды.

Жұмыстың негізгі мақсаты – автоматты басқару теориясын зерттеу, автоматты жүйелерді синтездеу және жобалау әдістерін талдау, сондай-ақ алынған нәтижелердің практикалық қолдану мүмкіндіктерін бағалау – толық орындалды. Зерттеу барысында математикалық модельдеу, жүйелердің құрылымдық талдауы, құжаттық талдау сияқты әртүрлі ғылыми әдістер қолданылды. Бұл әдістер автоматты жүйелердің алгоритмдік және функционалдық құрылымдарын кешенді зерттеуге, олардың тұрақтылығын, басқарылуын және бақылануын бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, автоматты жүйелерді синтездеудің заманауи тәсілдері тек дәлдік пен реттеу жылдамдығы көрсеткіштерін қамтамасыз етіп қана қоймай, өзгермелі сыртқы әсерлер жағдайында тиімді жұмыс істей алатын адаптивті құрылымдарды құруға мүмкіндік береді. Негізгі заңдылықтар анықталды: жүйенің алгоритмдік және функционалдық құрылымын дұрыс жобалау оның тұрақтылығына тікелей әсер етеді, ал конструктивті элементтерді таңдау бүкіл жүйенің тиімділігін анықтайды. Сондай-ақ, сандық басқару жүйелері дәлдік, икемділік және қазіргі есептеу құралдарымен интеграция мүмкіндігі жағынан артықшылықтарға ие екендігі растаылды, бұл олардың өнеркәсіпте, көлік жүйелерінде және телекоммуникация салаларында қолдану перспективаларын ашады.

Аталған зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, келесі қорытындылар жасауға болады:

- Зерттеу мақсаттары толық орындалды, ал қолданылған әдістер автоматты жүйелердің тиімділігін бағалауда сенімді нәтижелер беретінін көрсетті.

- Жүйелерді синтездеу және құрылымдық талдау алгоритмдері әртүрлі жұмыс режимдерінде автоматты жүйенің мінез-құлқын алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

- Алынған нәтижелер автордың бастапқы тұжырымының дұрыстығын растайды: жүйелік тәсіл мен математикалық модельдеу автоматты жүйелерді жобалауда негізгі құралдар болып табылады.

- Алынған нәтижелердің практикалық қолданылуы әртүрлі салаларда мүмкін: өнеркәсіптік автоматтандыру, теміржол көлігі, авиация, робототехника. Сандық басқару және адаптивті алгоритмдер қолданылған жүйелер сенімділікті арттырады, техникалық қызмет көрсету шығындарын төмендетеді және өндірістік көрсеткіштерді жақсартады.

Болашақ зерттеулер перспективаларына көпконтурлі күрделі жүйелерді синтездеу мүмкіндіктерін кеңейту, адаптивті басқару үшін жасанды интеллект әдістерін интеграциялау, сондай-ақ автоматты жүйелердің нақты жағдайдағы жұмысын болжауға арналған кешенді симуляциялық модельдер әзірлеу кіреді. Сонымен қатар, ұсынылған шешімдерді оқу және өндірістік жүйелерге енгізу арқылы олардың тиімділігін бағалау және мүмкін шектеулерді анықтау қажет.

Қорытындылай келе, жүргізілген зерттеу автоматты басқару теориясын тереңдетуге үлес қосып, заманауи синтез және жобалау әдістерінің практикалық қолданылуын растады және автоматтандыру саласын әртүрлі техникалық бағыттарда дамытуға перспективаларды ашты.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

Бесекерский, 1975 – Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. — М.: Наука.— 1975. — 122 с. [Russ.]

Бесекерский, 1976 – Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. — М.: Наука.— 1976. — 125 с. [Russ.]

Болнокин, 1986 – Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. — М.: Радио и связь.— 1986. — 127 с. [Russ.]

Вавилов, 1981 – Вавилов А.А., Имаев Д.Х. Машинные методы расчета систем управления. — Л.: Изд-во ЛГУ.— 1981. — 130 с. [Russ.]

Воронов, 1980 – Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем. — М.: Энергия.— 1980. — 145 с. [Russ.]

Воронов, 1981 – Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Особые линейные системы. — М.: Энергия.— 1981. — 150 с. [Russ.]

Воронов, 1979 – Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. — М.: Наука.— 1979. — 167 с. [Russ.]

Хитрюк, Федоров, 1976 – Динамика систем управления ракет с бортовыми вычислительными машинами / Под ред. М.С. Хитрюка, С.М. Федорова. — М.: Машиностроение.— 1976. — 177 с. [Russ.]

Шаталов, 1979 – Задачник по теории автоматического управления / Под ред. А.С. Шаталова. — М.: Энергия.— 1979. — 156 с. [Russ.]

Иващенко, 1979 – Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. — М.: Машиностроение.— 1979. — 134 с. [Russ.]

Кочетков, 1964 – Кочетков В.Т., Половко А.М., Понамарев В.М. Теория систем телеуправления и самонаведения ракет. — М.: Наука.— 1964. — 189 с. [Russ.]

Красовский, 1962 – Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. — М.: Госэнергоиздат.— 1962. — 198 с. [Russ.]

Султангазинов, 2004 – Султангазинов С.К. Теоретические основы автоматики и телемеханики. Учебное пособие. — Алматы: Изд. «Алла Прима».— 2004. — 285 с. [Kaz.]

Султангазинов, 2009 – Султангазинов С.К. Элементы устройств автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. Учебное пособие. — Алматы: Изд. «Алла Прима».— 2009. — 151 с. [Kaz.]

Султангазинов, Рустамбекова, Рустамбеков, 2022 – Султангазинов С.К., Рустамбекова К.К., Рустамбеков Е.К. Элементы и станционные системы жд. транспорта. Учебное пособие. — Алматы: ИП «Darkhan».— 2022. — 65 с. [Kaz.]

Султангазинов, Наурызова, Рустамбекова, 2021 – Султангазинов С.К., Наурызова Н.Ш., Рустамбекова К.К. Телекоммуникациялық желілердің құрал-жабдығын пайдалану. Оқу құралы. — Алматы: ИП «Darkhan».— 2021. — 164 б. [Kaz.]

#### REFERENCES

Besekerskii, 1975 – Besekerskii, V.A., Popov, E.P. (1975). Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Theory of Automatic Control Systems]. — Moscow: Nauka. — 1975. — 122 p. [in Russ.]

Besekerskii, 1976 – Besekerskii, V.A. (1976). Tsifrovye avtomaticheskie sistemy [Digital Automatic Systems]. — Moscow: Nauka. — 1976. — 125 p. [in Russ.]

- Bolnokin, 1986 – Bolnokin, V.E., Chinaev, P.I. (1986). Analiz i sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya na EVM [Analysis and Synthesis of Automatic Control Systems Using Computers]. — Moscow: Radio i svyaz'. — 1986. — 127 p. [in Russ.]
- Vavilov, 1981 – Vavilov, A.A., Imaev, D.Kh. (1981). Mashinnyye metody rascheta sistem upravleniya [Machine Methods for Calculating Control Systems]. — Leningrad: LSU Publishing House. — 1981. — 130 p. [in Russ.]
- Voronov, 1980 – Voronov, A.A. (1980). Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Avtomaticheskoe regulirovanie nepreryvnykh lineinykh sistem [Fundamentals of Automatic Control Theory. Automatic Control of Continuous Linear Systems]. — Moscow: Energiya. — 1980. — 145 p. [in Russ.]
- Voronov, 1981 – Voronov, A.A. (1981). Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Osobyte lineinye sistemy [Fundamentals of Automatic Control Theory. Special Linear Systems]. — Moscow: Energiya. — 1981. — 150 p. [in Russ.]
- Voronov, 1979 – Voronov, A.A. (1979). Ustoichivost', upravlyaemost', nablyudaemost' [Stability, Controllability, Observability]. — Moscow: Nauka. — 1979. — 167 p. [in Russ.]
- Khityruk, Fedorov, 1976 – Khityruk, M.S., Fedorov, S.M. (Eds.). (1976). Dinamika sistem upravleniya raket s bortovymi vychislitel'nymi mashinami [Dynamics of Missile Control Systems with Onboard Computers]. — Moscow: Mashinostroenie. — 1976. — 177 p. [in Russ.]
- Shatalov, 1979 – Shatalov, A.S. (Ed.). (1979). Zadachnik po teorii avtomaticheskogo upravleniya [Problem Book on Automatic Control Theory]. — Moscow: Energiya. — 1979. — 156 p. [in Russ.]
- Ivashchenko, 1979 – Ivashchenko, N.N. (1979). Avtomaticheskoe regulirovanie [Automatic Control]. — Moscow: Mashinostroenie. — 1979. — 134 p. [in Russ.]
- Kochetkov, 1964 – Kochetkov, V.T., Polovko, A.M., Ponomarev, V.M. (1964). Teoriya sistem teleupravleniya i samonavedeniya raket [Theory of Remote Control and Missile Homing Systems]. — Moscow: Nauka. — 1964. — 189 p. [in Russ.]
- Krasovskii, 1962 – Krasovskii, A.A., Pospelov, G.S. (1962). Osnovy avtomatiki i tekhnicheskoi kibernetiki [Fundamentals of Automation and Technical Cybernetics]. — Moscow: Gosenergoizdat. — 1962. — 198 p. [in Russ.]
- Sultangazinov, 2004 – Sultangazinov, S.K. (2004). Teoreticheskie osnovy avtomatiki i telemekhaniki [Theoretical Foundations of Automation and Telemechanics]. — Almaty: Alla Prima Publishing House. — 2004. — 285 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov, 2009 – Sultangazinov, S.K. (2009). Elementy ustroystv avtomatiki i telemekhaniki na zheleznodorozhnom transporte [Elements of Automation and Telemechanics Devices in Railway Transport]. — Almaty: Alla Prima Publishing House. — 2009. — 151 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov et al., 2022 – Sultangazinov, S.K., Rustambekova, K.K., Rustambekov, E.K. (2022). Elementy i stantsionnye sistemy zheleznodorozhnogo transporta [Elements and Station Systems of Railway Transport]. — Almaty: IP “Darkhan”. — 2022. — 65 p. [in Kaz.]
- Sultangazinov et al., 2021 – Sultangazinov, S.K., Nauryzova, N.Sh., Rustambekova, K.K. (2021). Telekommunikatsiyalyk zhelilerdin kural-zhabydygyn paidalanu [Operation of Telecommunications Network Equipment]. — Almaty: IP “Darkhan”. — 2021. — 164 p. [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. 1. Number 81 (2024). Pp. 63–77  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.005>

УДК 629.45

## INCREASING THE SPEED OF FREIGHT WAGON BOGIE EXCHANGE AT DOSTYK STATION THROUGH THE USE OF A TURNTABLE

*Y. Askarov, A. Karpov\**

International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

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

**Yerlan Askarov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [erlan57@mail.ru](mailto:erlan57@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4487-4458>;

**Alexander Karpov** — PhD, Assistant to Associate Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz](mailto:karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>.

© G. Yerkeldessova, V. Lahno

**Abstract.** The Dostyk railway station is one of the key border freight hubs of the Republic of Kazakhstan, ensuring rail connectivity between Kazakhstan and the People’s Republic of China. Due to the difference in track gauge widths (1520 mm and 1435 mm), freight wagons passing through the station require bogie exchange, which significantly affects processing time, throughput capacity, and the efficiency of international transport corridors. Under conditions of growing transit volumes and increasing demands on border infrastructure, the modernization of bogie exchange technology becomes particularly relevant. The purpose of this study is to substantiate the effectiveness of using turntables to improve and accelerate the process of freight wagon bogie exchange at Dostyk station. The objectives include analyzing the existing crane-based bogie exchange technology, studying the design and operating conditions of turntables, assessing their load-bearing capacity, comparing time indicators of different technological solutions, and evaluating the practical feasibility of implementing turntables under real operating conditions. The study demonstrates that the traditional crane-based technology is characterized by high labor intensity and significant time losses due to multiple lifting and repositioning operations. The proposed use of turntables simplifies the trajectory of bogie movement and reduces the number of crane operations. Practical implementation at Dostyk station showed that the average time for replacing one bogie decreased from 6–7 minutes to 4–5 minutes, increasing productivity by approximately 1.4 times. Engineering calculations and experimental tests confirmed the structural strength and reliability of the turntable, including safe passage of a shunting locomotive. The results confirm that turntables represent a technically reliable, operationally efficient, and economically justified solution for accelerating bogie exchange processes at border stations. The proposed technology does not require large-scale reconstruction or significant capital investments



and can be replicated at other stations with similar operating conditions, thereby enhancing the competitiveness of Kazakhstan's international railway corridors.

**Keywords:** bogie exchange, turntable, border railway station, freight wagon, gauge difference, transport efficiency

**For citation:** Y. Askarov, A. Karpov. Increasing the Speed of Freight Wagon Bogie Exchange at Dostyk Station Through the Use of a Turntable//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 63–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.005>

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

## ДОСТЫҚ СТАНЦИЯСЫНДА ЖҮК ВАГОНДАРЫНЫҢ ТЕЛЕЖКЕЛЕРІН АУЫСТЫРУ ҮДЕРІСІНІҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫН АЙНАЛМАЛЫ ДӨҢГЕЛЕКТІ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ

*Е. Аскаров, А. Карпов\**

Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

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

**Ерлан Аскаров** — техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [erlan57@mail.ru](mailto:erlan57@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4487-4458>;

**Александр Карпов** — PhD, қауымдастырылған профессордың ассистенті, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz](mailto:karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>.

© Е. Аскаров, А. Карпов

**Аннотация.** Достық теміржол станциясы Қазақстан Республикасы мен Қытай Халық Республикасы арасындағы халықаралық жүк тасымалдарын қамтамасыз ететін негізгі шекаралық көлік тораптарының бірі болып табылады. Теміржол табанының әртүрлі еніне (1520 мм және 1435 мм) байланысты жүк вагондарының тележкелерін ауыстыру қажеттілігі туындайды, бұл станцияның өткізу қабілетіне, жүк өңдеу уақытына және халықаралық көлік дәліздерінің тиімділігіне тікелей әсер етеді. Жүк ағындарының өсуі жағдайында технологиялық процестерді жетілдіру өзекті мәселе болып отыр. Зерттеудің мақсаты — Достық станциясында жүк вагондарының тележкелерін ауыстыру үдерісін жетілдіру үшін айналмалы дөңгелектерді қолданудың тиімділігін негіздеу. Міндеттеріне қолданыстағы крандық технологияны талдау, айналмалы дөңгелектердің конструктивтік ерекшеліктерін зерттеу, олардың көтергіштік қабілетін бағалау, әртүрлі технологиялық тәсілдердің уақыттық көрсеткіштерін салыстыру және ұсынылған шешімнің өндірістік тиімділігін анықтау кіреді. Зерттеу барысында крандарды пайдалану арқылы тележке ауыстыру технологиясының күрделі және уақытты көп қажет ететіні анықталды. Айналмалы дөңгелектерді қолдану тележкелердің қозғалыс траекториясын оңтайландырып, операциялардың санын азайтады. Тәжірибелік пайдалану нәтижесінде бір тележкені ауыстыру уақыты 6–7 минуттан 4–5 минутқа дейін қысқарып, еңбек өнімділігі шамамен 1,4 есеге артты. Инженерлік есептеулер мен сынақтар конструкцияның беріктігі мен сенімділігін растады. Айналмалы дөңгелектерді енгізу жүк вагондарының тележкелерін ауыстыру үдерісін жеделдетудің техникалық тұрғыдан қарапайым, сенімді және экономикалық жағынан тиімді тәсілі болып табылады. Ұсынылған технологияны ұқсас шекаралық станцияларда кеңінен қолдануға болады.

**Түйін сөздер:** тележке ауыстыру, айналмалы дөңгелек, шекаралық станция, жүк вагоны, теміржол табаны, тасымал тиімділігі

**Дәйексөздер үшін:** Е. Аскаров, А. Карпов. Достық станциясында жүк вагондарының тележекелерін ауыстыру үдерісінің жылдамдығын айналмалы дөңгелекті қолдану арқылы арттыру//Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 63–77 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.005>

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

## УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА СМЕНЫ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА СТАНЦИИ ДОСТЫК С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВОРОТНОГО КРУГА

*Е. Аскаров, А. Карпов\**

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

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования, Киев, Украина.

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

**Ерлан Аскаров** — к.т.н., ассоциированный профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [erlan57@mail.ru](mailto:erlan57@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4487-4458>;

**Александр Карпов** — PhD, ассистент ассоциированного профессора, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz](mailto:karpov.aleksandr@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0000-8795-0233>.

© Е. Аскаров, А. Карпов

**Аннотация.** Станция Достык является одной из важнейших пограничных железнодорожных станций Республики Казахстан, обеспечивающих международные грузовые перевозки между Казахстаном и Китайской Народной Республикой. Различие ширины железнодорожной колеи (1520 мм и 1435 мм) обуславливает необходимость выполнения операций по смене вагонных тележек, которые оказывают существенное влияние на пропускную способность станции, сроки доставки грузов и эффективность международных транспортных коридоров. В условиях роста транзитных потоков актуальной становится задача ускорения и упрощения данного технологического процесса. Целью исследования является обоснование эффективности применения поворотных кругов для ускорения процесса смены тележек грузовых вагонов на станции Достык. В рамках исследования поставлены задачи анализа существующей технологии с использованием подъемных кранов, изучения конструктивных особенностей поворотных кругов, оценки их прочностных характеристик, сравнительного анализа временных показателей различных способов смены тележек и определения практической целесообразности внедрения данной технологии. Установлено, что традиционная технология смены тележек с применением кранов характеризуется высокой трудоемкостью и значительными временными затратами. Применение поворотных кругов позволяет существенно упростить логику перемещения тележек внутри производственного здания и сократить количество крановых операций. Практические результаты эксплуатации показали снижение времени смены одной тележки с 6–7 до 4–5 минут, что соответствует росту производительности примерно в 1,4 раза. Проведенные расчеты и испытания подтвердили надежность и достаточную несущую способность конструкции. Внедрение поворотных кругов является эффективным, технологически простым и экономически оправданным решением для повышения пропускной способности пограничных железнодорожных станций. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации аналогичных объектов транспортной инфраструктуры Республики Казахстан.

**Ключевые слова:** смена тележек, поворотный круг, пограничная станция, грузовые вагоны, разная колея, пропускная способность

**Для цитирования:** Е. Аскарлов, А. Карпов. Увеличение скорости процесса смены тележек грузовых вагонов на станции достык с применением поворотного круга//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 63–77. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.005>

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

### Введение

Станция Достык является одной из ключевых пограничных железнодорожных станций Республики Казахстан, обеспечивающих международные грузовые перевозки между Казахстаном и Китайской Народной Республикой. Через данную станцию проходит значительная часть транзитных и экспортно-импортных грузопотоков, формирующих важное звено евразийских транспортных коридоров. По данным аналитических и корпоративных источников, совокупный объем грузооборота через станцию Достык в обоих направлениях составляет около 14 млн тонн в год, что подтверждает ее стратегическое значение для национальной транспортной системы и международной логистики (Жуматаев, 2020: 12–18; АО «НК «КТЖ», 2024: 145–148; SK News, 2021).

Выбор темы исследования обусловлен наличием устойчивой проблемной ситуации, связанной с различием ширины железнодорожной колеи Казахстана (1520 мм) и Китайской Народной Республики (1435 мм). Указанное различие требует применения специальных технологических операций по смене вагонных тележек, которые характеризуются высокой трудоемкостью и значительными временными затратами. Анализ функционирования станций Достык и Алтынколь показывает, что именно данный этап обработки вагонов является «узким местом», ограничивающим рост пропускной способности и увеличение объемов перевозок (Жуматаев, 2020: 34–41; Компания «UkrMashService», 2024).

Актуальность исследования определяется ростом грузопотоков между Китаем, странами Центральной Азии и Европой, а также усилением роли Казахстана как транзитного государства в системе международных железнодорожных перевозок. В условиях увеличения нагрузки на пограничную инфраструктуру возникает необходимость поиска и внедрения технически простых, надежных и экономически целесообразных решений, направленных на ускорение процесса смены вагонных тележек без значительных капитальных вложений. Данные вопросы находят отражение в годовых и интегрированных отчетах АО «НК «Қазақстан темір жолы», где подчеркивается необходимость модернизации технологических процессов и повышения эффективности транзитных перевозок (АО «НК «КТЖ», 2019: 88–92; АО «НК «КТЖ», 2022: 176–180).

Объектом исследования является технологический процесс обработки грузовых вагонов на пограничной железнодорожной станции Достык. Предметом исследования являются технические и организационно-технологические решения по смене вагонных тележек в условиях различной ширины железнодорожной колеи.

Целью исследования является обоснование эффективности применения поворотных кругов как способа совершенствования технологического процесса смены вагонных тележек на станции Достык.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- анализ существующей технологии смены вагонных тележек с использованием подъемных кранов;
- изучение конструктивных особенностей поворотных кругов и условий их эксплуатации;
- оценка прочностных характеристик поворотного круга при воздействии статических нагрузок от подвижного состава;

- сравнительный анализ временных показателей технологических операций при различных способах смены тележек;

- определение практической эффективности внедрения поворотных кругов в условиях действующего терминала станции Достык.

Методологическую основу исследования составляют методы инженерных расчетов, сравнительный анализ технологических процессов, а также обобщение практического опыта эксплуатации оборудования на пограничных железнодорожных станциях.

Практическая значимость работы заключается в возможности тиражирования предложенной технологии на других пограничных станциях Республики Казахстан, что позволит сократить время обработки вагонов, увеличить пропускную способность инфраструктуры и повысить конкурентоспособность казахстанских транзитных маршрутов в системе международных перевозок.

#### **Материалы и методы**

Материалами исследования послужили нормативно-отчетные, аналитические и инженерно-технические источники, а также результаты практического внедрения технических решений на пограничной железнодорожной станции Достык. В количественном отношении в работе использованы статистические данные о грузообороте станции, показателях пропускной способности и временных затратах на выполнение операций по смене вагонных тележек, представленные в годовых и интегрированных отчетах АО «НК «Қазақстан темір жолы» за 2019–2024 гг. (АО «НК «ҚТЖ», 2019–2024).

Качественную основу исследования составляют:

- итоговый аналитический отчет по результатам обследования работы станций Достык и Алтынколь, подготовленный специалистами Корпоративного фонда «KAZLOGISTICS» (Жуматаев и др., 2020);

- отраслевые публикации и аналитические материалы, посвященные функционированию пограничных железнодорожных станций и методам стыковки железных дорог различной ширины колеи (SK News, 2021; Компания «UkrMashService», 2024);

- материалы конструкторско-экспериментального центра (КЭЦ) Алматы, отражающие опыт проектирования, изготовления и эксплуатации поворотных кругов на станции Достык.

Используемые материалы охватывают период с 2019 по 2024 годы, что обеспечивает актуальность данных и позволяет оценить динамику развития технологических процессов. Репрезентативность материала и его сочетание с практическими результатами эксплуатации оборудования повышают достоверность выводов исследования.

В рамках исследования были сформулированы следующие ключевые вопросы:

- какие технологические ограничения существуют при смене вагонных тележек на пограничных станциях с различной шириной колеи;

- в какой степени традиционная технология с использованием подъемных кранов влияет на производительность и пропускную способность станции;

- позволяет ли применение поворотных кругов сократить время выполнения операций и упростить технологический процесс без значительных капитальных затрат.

В качестве основной гипотезы выдвигается положение о том, что внедрение поворотных кругов в технологический процесс смены вагонных тележек на пограничной станции Достык позволяет существенно сократить продолжительность операций, повысить производительность труда и надежность процесса обработки вагонов при сохранении требуемого уровня безопасности и без необходимости масштабной модернизации инфраструктуры.

Исследование проводилось в несколько последовательных этапов:

- Аналитический этап — изучение научных, отраслевых и отчетных источников, анализ существующих технологий смены вагонных тележек и выявление основных проблемных зон в работе станции Достык.

- Проектно-расчетный этап — анализ конструктивных особенностей поворотного круга, расчет его несущей способности и оценка соответствия эксплуатационным нагрузкам.

- Экспериментально-практический этап — обобщение результатов изготовления, монтажа и испытаний поворотного круга, включая проверку его работоспособности при прохождении маневрового тепловоза.

- Сравнительно-оценочный этап — сопоставление временных и технологических показателей смены тележек при использовании подъемных кранов и поворотных кругов.

- Обобщающий этап — формулирование выводов и оценка возможности тиражирования предложенного решения на других пограничных станциях.

#### Методы исследования

В работе применялась совокупность общенаучных и специальных методов исследования, в том числе:

- анализ и синтез — при изучении теоретических и практических материалов по организации железнодорожных перевозок;

- сравнительный анализ — при сопоставлении различных технологий смены вагонных тележек;

- инженерно-технические расчеты — при определении прочностных и нагрузочных характеристик поворотного круга;

- метод наблюдения и обобщения практического опыта — при анализе результатов эксплуатации оборудования на станции Достык;

- графо-аналитический метод — при разработке и интерпретации технологических схем.

Новизна исследования заключается в комплексной оценке практического внедрения поворотных кругов в реальных условиях эксплуатации пограничной станции, а также в обосновании возможности повышения эффективности технологического процесса смены вагонных тележек без значительных финансовых и организационных затрат.

#### Результаты и обсуждение

В 2012 г. на станции Достык пущен в эксплуатацию новый современный пункт перестановки вагонов, его суточный план перестановки составляет 40 вагонов.



Рис.1. Пункт перестановки вагонов

Пункт представляет из себя производственное одноэтажное двух пролетное здание длиной 360 м и шириной 100 м (Рис. 1). В одной части здания складированы вагонные тележки, общее количество не менее 1500 штук (Рис.2), во второй части здания происходит замена тележек. Здание оснащено 4 подъемными кранами – грузоподъемность каждого 12 тонн (Рис.3).



Рис.2. Склад вагонных тележек



Рис.3. Подъемный кран

Перемещение тележек по технологическому процессу должно осуществляться данными кранами, для этого они оснащены специальными захватами (Рис.4). Данные захваты местного производства не имели достаточной прочности и надежности.

По заданию руководства станции КЭЦ спроектировал и изготовил специальные захваты (Рис.5). Но работа с захватами имеет низкую производительность, необходимо подогнать кран к тележке, зацепить его, поднести к поперечному пути, опустить его, прокатить тележку в другую половину здания, снова подцепить ее другим краном, переставить на продольный путь, подкатить к вагону и произвести замену тележки. С освобожденной тележкой произвести те же операции, но в обратном порядке.



Рис.4. Захват для тележек



Рис.5. Специальный захват

Смена вагонных тележек является самым сложным технологическим процессом в обработке грузовых вагонов, следующим транзитом через станцию Достык. Именно она является основной проблемой, мешающей повышению грузооборота станции. Грузовая вагонная тележка обладает большой массой, около 4,5 тонны и большими габаритами. Смена тележки требует особого оборудования, рабочего пространства и времени, что неизбежно увеличивает время и стоимость доставки груза клиенту.

Для ускорения операции доставки тележки к вагону предложено установить в здании четыре поворотных круга. Применение кругов значительно ускорит процесс. Если операция смены одной тележки с помощью крана занимает около 6–7 мин, то применение поворотного круга позволит проводить эту операцию за 4–5 мин. Сокращение времени в 1,4 раза.

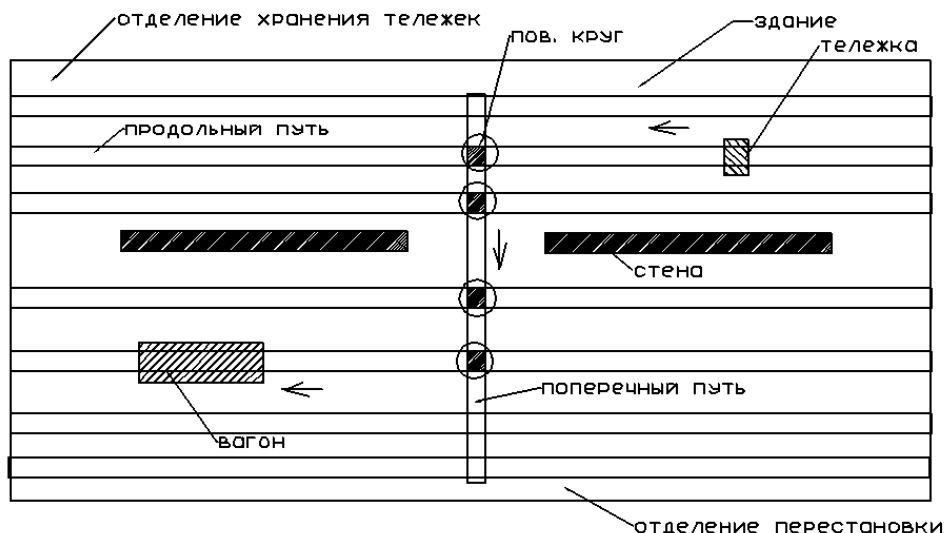


Рис.6. Схема размещения поворотных кругов

Порядок процесса смены тележки выглядит следующим образом (Рис.6.):

1. Выбирается тележка для смены, она находится в отделении хранения тележек.
2. Выбранная тележка вручную катится по продольному пути до поворотного круга. Тележка устанавливается на поворотный круг.
3. Поворотный круг вместе с тележкой вручную поворачивается на  $90^{\circ}$ .
4. Тележка с круга перемещается на поперечный путь и катится вручную по нему до поворотного круга, установленного на продольном пути, где стоит вагон, которому необходимо заменить тележки.
5. Тележка устанавливается на данный поворотный круг, который вместе с тележкой поворачивается на  $90^{\circ}$ .
6. Тележка скатывается с поворотного круга и перемещается по продольному пути к вагону. Производится смена тележки.
7. Сменная тележка вагона перемещается в обратном направлении в отделение хранения тележек.

Основные требования к поворотному кругу:

1. Возможность легкого поворота на  $90^{\circ}$  с установленной тележкой колеи 1520 и 1435 мм. Поворот производится двумя рабочими за ручку.
2. Свободный проезд через поворотный круг тележек и маневрового тепловоза.

Маневровый тепловоз обладает массой  $m_T = 130$  тонн. Будем считать, что при въезде тепловоза на круг он будет воспринимать не более половины массы тепловоза  $m = 65$  тонн (Рис.7.). Определим несущую способность круга. Верхняя плита круга установлена на 16 буксовых подшипников от вагона. Именно они воспринимают нагрузку от тепловоза. Будем считать, что нагрузка статическая. Известно, что расчетная нагрузка на вагонную ось составляет 20 тонн, ось установлена на 4 буксовых подшипника, следовательно, один подшипник держит нагрузку 5 тонн. Отсюда 16 буксовых подшипника держат нагрузку  $5 \times 16 = 80$  тонн. Можно считать, что расчетная нагрузка поворотного круга составляет 80 тонн.

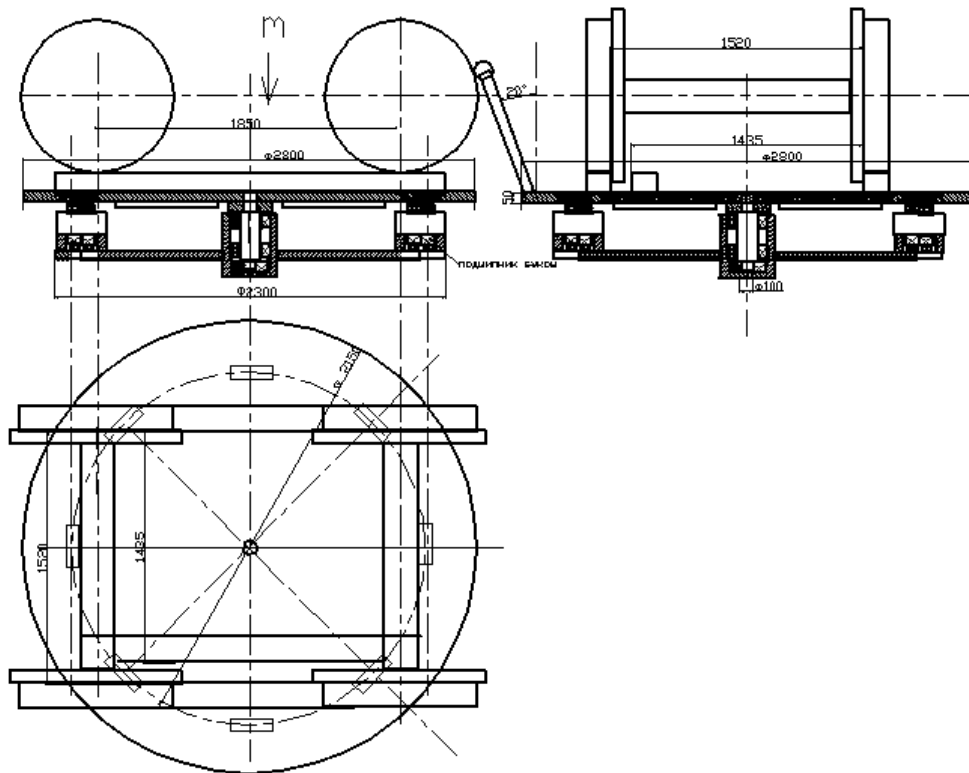


Рис.7. Схема нагрузки поворотного круга



Рис.8. Изготовление поворотного круга

В цехе КЭЦ Алматы был изготовлен поворотный круг (Рис.8)

В июне на станцию был доставлен и смонтирован первый поворотный круг (Рис.9).



Рис.9. Поворотный круг

Поворотный круг был опущен в яму (Рис.10)



Рис.10. Монтаж поворотного круга

На круг были установлены рельсы (Рис.11)



Рис.11. Установка рельсов на поворотный круг

После закрепления рельсов был произведен пробный поворот тележки (Рис.12). Также было проведено испытание на прочность – по кругу проехал маневровый тепловоз. Все испытания прошли успешно. Круг не разрушился, нет никакой деформации его частей.



Рис.12. Поворот тележки на круге

На Рис. 13 указаны основные элементы поворотного круга

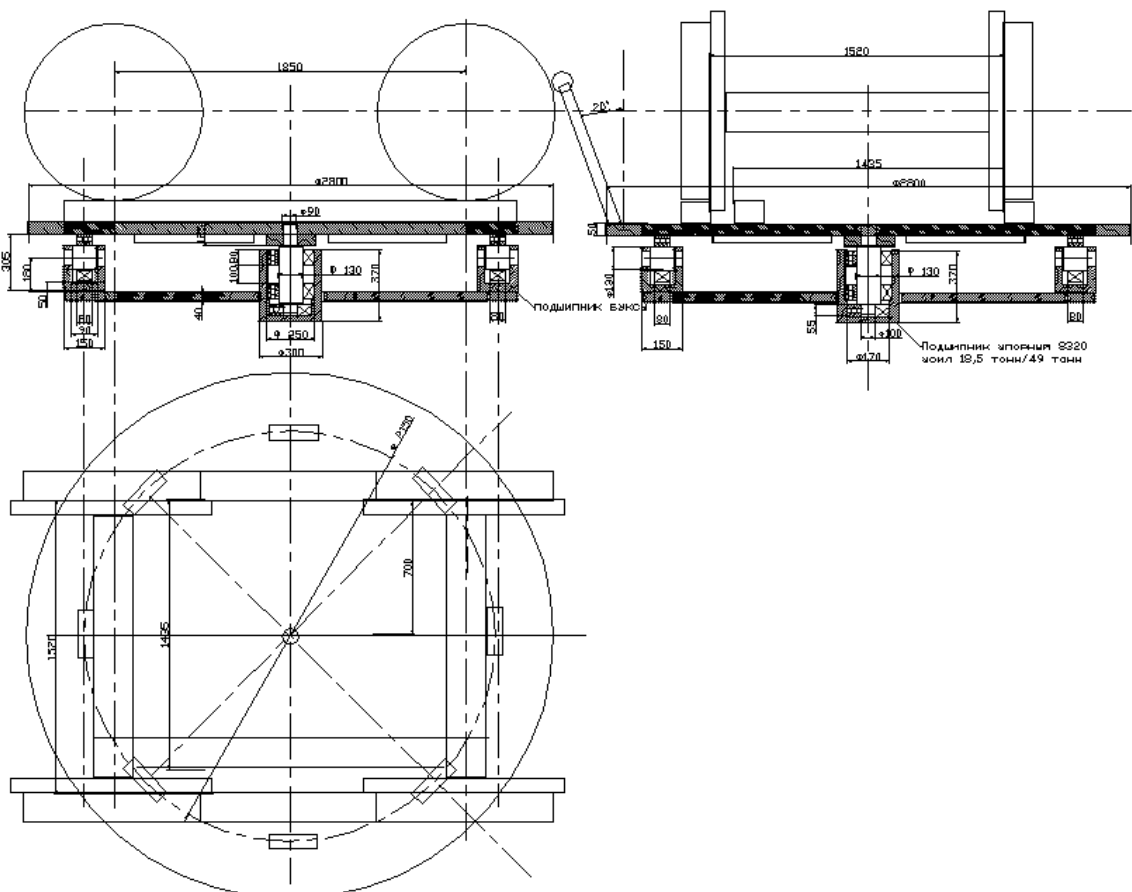


Рис. 13. Поворотный круг

В настоящее время в терминале применяется как перестановка тележек подъемными кранами, так и применение поворотных кругов. Круги установлены, активно эксплуатируются и показали свою эффективность. Длительная эксплуатация показала, что

расчеты по прочности были верные, предложенная технология смены тележек простая и производительная. В дальнейшем КЭЦ Алматы внедрил на станции Достык и другие свои конструкторские разработки.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования была рассмотрена одна из ключевых технологических проблем пограничных железнодорожных станций Республики Казахстан — смена вагонных тележек в условиях различной ширины железнодорожной колеи. На примере станции Достык показано, что данный процесс оказывает существенное влияние на пропускную способность станции, сроки доставки грузов и эффективность функционирования международных транспортных коридоров.

Поставленная цель исследования — обоснование эффективности применения поворотных кругов для совершенствования процесса смены вагонных тележек — была достигнута за счет комплексного использования инженерных расчетов, анализа технологических операций и обобщения практического опыта эксплуатации оборудования. Примененные методы исследования позволили всесторонне оценить как техническую состоятельность предложенного решения, так и его производственную целесообразность.

В результате анализа традиционной технологии смены тележек с использованием подъемных кранов установлено, что данная схема характеризуется высокой трудоемкостью, значительными временными затратами и сложной логистикой перемещения тяжелых элементов внутри производственного здания. Многократные операции подъема, переноса и повторного позиционирования тележек увеличивают продолжительность обработки вагонов и формируют «узкое место» в технологическом процессе станции.

В ходе исследования была подтверждена выдвинутая гипотеза о том, что применение поворотных кругов позволяет существенно сократить время выполнения операций по доставке тележек к вагону. Эксплуатационные наблюдения показали, что продолжительность смены одной тележки сокращается в среднем с 6–7 минут до 4–5 минут, что соответствует увеличению производительности примерно в 1,4 раза. Данное сокращение времени достигается за счет упрощения траектории перемещения тележек и отказа от части крановых операций.

Проведенные инженерные расчеты и испытания подтвердили достаточную прочность и надежность конструкции поворотного круга. Расчетная несущая способность круга в 80 тонн обеспечивает безопасный проезд маневрового тепловоза и перемещение вагонных тележек без деформаций и повреждений элементов конструкции. Практические испытания в условиях действующей станции показали соответствие расчетных и фактических характеристик, что подтверждает корректность принятых технических решений.

Основным выводом исследования является то, что внедрение поворотных кругов представляет собой эффективное, технологически простое и экономически оправданное решение для совершенствования процесса смены вагонных тележек на пограничных железнодорожных станциях. Предложенная технология не требует значительных капитальных вложений, сложного обучения персонала или глубокой реконструкции инфраструктуры, что делает ее особенно актуальной в условиях роста транзитных перевозок.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности масштабирования и внедрения данной технологии на других пограничных станциях Казахстана, функционирующих в аналогичных условиях. Применение поворотных кругов способствует повышению пропускной способности станций, снижению эксплуатационных затрат и сокращению времени доставки грузов, что, в свою очередь, усиливает конкурентные позиции казахстанских железнодорожных маршрутов на международном рынке перевозок.

Перспективы дальнейших исследований связаны с оптимизацией конструкции поворотных кругов, возможной автоматизацией процесса поворота, а также комплексной оценкой экономического эффекта от внедрения технологии в масштабах транспортного коридора. Дополнительный интерес представляет исследование интеграции данной технологии с цифровыми системами управления терминалами и логистическими потоками.

#### ЛИТЕРАТУРА

Жуматаев, 2020 — Жуматаев А.Р., Кулышов С.М., Адамбаева С.М. Итоговый отчет по теме: «Анализ работы станций Достык и Алтынколь в условиях множественности собственников и операторов вагонов с выработкой рекомендаций по совершенствованию процесса работы данных станций с участниками перевозочного процесса». — Корпоративный Фонд «KAZLOGISTICS». — 2020. — 106 с. [Russ.]

Портал «Центр транспортных стратегий», 2019 — Рынок грузоперевозок Украины за 2019 год [Электронный ресурс]. — Портал «Центр транспортных стратегий». — 2019. — Режим доступа: [https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki\\_zheleznykh\\_dorog\\_ukrainy\\_2019](https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki_zheleznykh_dorog_ukrainy_2019). — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2024 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2024 год «На прочных рельсах – труд и мастерство». — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2024. — 349 с. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2023 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2023 год. — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2023. — 312 с. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2022 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2022 год. — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2022. — 310 с. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2021 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2021 год. — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2021. — 314 с. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2020 — Интегрированный годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2020 год «Железная дорога: устойчивость. безопасность. ответственность». — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2020. — 293 с. [Russ.]

АО «НК «КТЖ», 2019 — Годовой отчет АО «НК «Казакстан темір жолы» за 2019 год. — АО «НК «Казакстан темір жолы». — 2019. — 204 с. [Russ.]

SK News, 2021 — Станция Достык: каков потенциал международной станции на границе с Китаем [Электронный ресурс]. // Корпоративное электронное издание группы компаний АО «Самрук-Қазына». — 2021. — Режим доступа: <https://sknews.kz/news/view/stanciya-dostyk-kakov-potencial-meghdunarodnoy-stancii-na-granice-s-kitaem>. — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]

Компания «UkrMashService», 2024 — Методы стыковки железных дорог [Электронный ресурс]. — Компания «UkrMashService». — 2024. — Режим доступа: <https://ukrmashservice.com/articles/metody-stykovki-zheleznyh-dorog>. — Дата обращения: 10.01.2024. [Russ.]

#### REFERENCES

Zhumataev, 2020 — Zhumataev, A.R., Kulyshov, S.M., Adambaeva, S.M. (2020). Itogoviy otchet po teme: «Analiz raboty stantsii Dostyk i Altynkol' v usloviyakh mnozhestvennosti sobstvennikov i operatorov vagonov s vyrabotkoi rekomendatsii po sovershenstvovaniyu protsessa raboty dannykh stantsii s uchastnikami perevozochnogo protsessa» {Final report on the topic: "Analysis of the operation of Dostyk and Altynkol stations under conditions of multiple owners and wagon operators with the development of recommendations for improving the operation process of these stations with participants of the transportation process"}. — Corporate Fund "KAZLOGISTICS". — 2020. — 106 p. [in Russ.]

Transport Strategies Center Portal, 2019 — Rynok gruzoperevozok Ukrainy za 2019 god [Electronic resource] {Freight transportation market of Ukraine in 2019}. — Transport Strategies Center Portal. — 2019. — Available at: [cfts.org.ua](https://cfts.org.ua) — Accessed: 10.01.2024. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2024 — Integrirovanniy godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2024 god "Na prochnykh rel'sakh – trud i masterstvo" {Integrated Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2024 "On strong rails – labor and craftsmanship"}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2024. — 349 p. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2023 — Integrirovanniy godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2023 god {Integrated Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2023}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2023. — 312 p. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2022 — Integrirovanniy godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2022 god {Integrated Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2022}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2022. — 310 p. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2021 — Integrirovanniy godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2021 god {Integrated Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2021}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2021. — 314 p. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2020 — Integrirovanniy godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2020 god "Zheleznaya doroga: ustoychivost'. bezopasnost'. otvetstvennost'" {Integrated Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2020 "Railway: sustainability, safety, responsibility"}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2020. — 293 p. [in Russ.]

JSC "NC "KTZ", 2019 — Godovoi otchet AO "NC "Kazakhstan Temir Zholy" za 2019 god {Annual Report of JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'" for 2019}. — JSC "National Company 'Kazakhstan Temir Zholy'". — 2019. — 204 p. [in Russ.]

SK News, 2021 — Stantsiya Dostyk: kakov potentsial mezhdunarodnoi stantsii na granitse s Kitaem [Electronic resource] {Dostyk Station: what is the potential of an international station on the border with China}. — Corporate electronic publication of Samruk-Kazyna Group. — 2021. — Available at: sknews.kz — Accessed: 10.01.2024. [in Russ.]

UkrMashService Company, 2024 — Metody stykovki zheleznykh dorog [Electronic resource] {Methods of railway junction connection}. — UkrMashService Company. — 2024. — Available at: ukrmashservice.com — Accessed: 10.01.2024. [in Russ.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 1. Number 81 (2024). Pp. 78–87  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.006>  
УДК 691.327:666.93.2:666.64

## INFLUENCE OF REINFORCEMENT TYPE ON CONCRETE STRENGTH

<sup>1</sup>*K. Bakirov\**, <sup>2</sup>*Sh. Baysugirova*

<sup>1</sup>Caspian University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz

**Keles Bakirov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Caspian University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7915-5326>;

**Shynar Baysugirova** — Senior Lecturer, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: baysugirova.shynar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5177-8371>.

© K. Bakirov, Sh. Baysugirova

**Abstract.** The research topic is the enhancement of compressed reinforced concrete elements using transverse (secondary) reinforcement and high-strength longitudinal reinforcement. The relevance of this study is determined by the need to increase structural load-bearing capacity, ensure safety, and optimize material consumption in construction. The aim of the study is to investigate the effect of transverse reinforcement and high-strength longitudinal reinforcement on the load-bearing capacity and deformation behavior of reinforced concrete elements and to propose formulas for calculating prism strength based on experimental data. Research objectives include: testing samples under central and eccentric compression, assessing the impact of concrete grade and reinforcement class on element strength, and determining the efficiency coefficient of transverse reinforcement. Results showed that transverse reinforcement significantly increases element strength, reduces deformation, and improves the plastic properties of concrete. High-strength longitudinal reinforcement enhances element stability under central and eccentric compression. The proposed formulas allow precise calculations in structural design. In conclusion, the study results have practical significance for designing and using reinforced concrete structures and provide a basis for further research.

**Keywords:** reinforced concrete, transverse reinforcement, high-strength reinforcement, longitudinal reinforcement, strength, deformation

**For citation:** K. Bakirov, Sh. Baysugirova. Influence of reinforcement type on concrete strength//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 81. Pp. 78–87. (In Kaz.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.006>

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

## БЕТОН БЕРІКТІГІНІҢ АРМАТУРАЛАУ ТҮРІНЕ ТӘУЕЛДІЛІГІ

<sup>1</sup>*К. Бакиров\**, <sup>2</sup>*Ш. Байсугирова*

<sup>1</sup>Каспийский университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан.

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz



**Келес Бакиров** — т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Caspian University, Алматы, Қазақстан

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7915-5326>;

**Шынар Байсугирова** — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университет, Алматы, Қазақстан

E-mail: baysugirova.shynar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5177-8371>.

© К. Бакиров, Ш. Байсугирова

**Аннотация.** Зерттеу тақырыбы – көлденең (жанама) армирленген және жоғары беріктікті продольдық арматураланған сығылған темірбетон элементтердің беріктігін арттыру әдістерін зерттеу. Қазіргі таңда темірбетон конструкцияларында көлденең армирлеу және жоғары беріктікті арматура қолдану арқылы элементтердің беріктігін арттыру мәселесі өзекті болып табылады, себебі бұл құрылымдардың қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, материалдарды үнемдеуге мүмкіндік береді. Зерттеу мақсаты – көлденең армирлеу мен жоғары беріктікті продольдық арматураның темірбетон элементтердің көтеру қабілеті мен деформацияға төзімділігіне әсерін анықтау, тәжірибелік сынақтар арқылы алынған мәліметтер негізінде есептеу формулаларын ұсыну. Зерттеу міндеттері: тәжірибелік үлгілерді орталықтан және орталықтан тыс сығу жағдайында тексеру, бетон маркасы мен арматура класының элементтің беріктігіне әсерін бағалау, көлденең армирлеудің тиімділік коэффициентін анықтау. Зерттеу нәтижелері көлденең армирлеу элементтердің беріктігін арттыратынын, деформацияны азайтатынын және бетонның пластикалық қасиеттерін жақсартатынын көрсетті. Жоғары беріктікті продольдық арматура қолдану элементтің орталықтан және орталықтан тыс жүктемелерге төзімділігін арттырады. Алынған формулалар жобалау кезінде нақты есептеулер жасауға мүмкіндік береді. Қорытындысы бойынша, зерттеу нәтижелері темірбетон конструкцияларын жобалау мен қолдануда практикалық маңызы бар және болашақ зерттеулерге негіз бола алады.

**Ключевые слова:** темірбетон, жанама армирлеу, жоғары беріктік, продольдық арматура, беріктік, деформация

**Дәйексөздер үшін:** К. Бакиров, Ш. Байсугирова. Бетон беріктігінің арматуралау түріне тәуелділігі // Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 78–87 бет. (Қаз. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.006>

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

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ОТ ТИПА АРМИРОВАНИЯ

*К. Бакиров<sup>1\*</sup>, Ш. Байсугирова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Caspian University;

<sup>2</sup>Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz

**Келес Бакиров** — к.т.н., ассоциированный профессор, Caspian University, Алматы, Казахстан

E-mail: bakirov.keles@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0008-7915-5326>;

**Шынар Байсугирова** — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: baysugirova.shynar@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0000-5177-8371>.

© К. Бакиров, Ш. Байсугирова



**Аннотация.** Тема исследования – повышение прочности сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием и высокопрочной продольной арматурой. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения несущей способности конструкций, обеспечения их безопасности и экономии строительных материалов. Цель исследования – определить влияние поперечного армирования и высокопрочной продольной арматуры на несущую способность и деформации железобетонных элементов, а также предложить формулы для расчета призматической прочности на основе экспериментальных данных. Задачи включают: проведение экспериментальных испытаний образцов при центральном и внецентровом сжатии, оценка влияния марки бетона и класса арматуры на прочность элементов, определение коэффициента эффективности поперечного армирования. Результаты показали, что поперечное армирование повышает прочность элементов, снижает деформации и улучшает пластические свойства бетона. Использование высокопрочной продольной арматуры увеличивает устойчивость элементов при центральном и внецентровом сжатии. Разработанные формулы позволяют выполнять точные расчеты при проектировании. Выводы исследования подтверждают практическую значимость применения данных методов при проектировании и эксплуатации железобетонных конструкций и открывают перспективы для дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** железобетон, поперечное армирование, высокопрочная арматура, продольная арматура, прочность, деформация

**Для цитирования:** К. Бакиров, Ш. Байсугирова. Зависимость прочности бетона от типа армирования//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 78–87. (На каз.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.006>

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

### Кіріспе

Қазіргі құрылыс саласында темірбетон конструкцияларынан жеңіл салмаққа және аз көлемге ие болғанымен, жоғары беріктілік пен ұзақ мерзімділікті талап етеді. Осыған байланысты жаңа құрылымдық шешімдерді әзірлеу және тексеру маңызды болып табылады, олардың арқасында конструкциялардың көтеру қабілеті артып, материал шығыны азаяды (Бакиров, 2009: 45–56; Бакиров, 2012: 23–32).

Тақырыпты таңдаудың негіздемесі бетон мен арматураның физико-механикалық қасиеттерін барынша тиімді пайдалану қажеттілігінен туындайды. Практика көрсеткендей, бетон элементтерінің беріктігін арттыру жоғары беріктікті бетон қолдану, қиманың оңтайлы жобалануы және арматураны тиімді орналастыру арқылы жүзеге асады (Камейко, 1975: 15–23; Гвоздев, Кузнецов, 1980: 45–54). Әсіресе, бетонның көлденең деформациясын шектеу арқылы косвенно (көлденең) армирлеу оның сығылу кезіндегі беріктігін арттырады, конструкциялардың пластикалық қасиеттерін жақсартады және жоғары беріктікті материалдарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді (Крылов, 1985: 12–28; Матков, 1990: 33–47).

Зерттеудің өзектілігі келесі жағдайлармен анықталады: косвенно армирлеу бойынша көптеген эксперименттік және теориялық зерттеулер жүргізілгеніне қарамастан (Рискинд, 1995: 21–35; Крылов, 2000: 10–22), жоғары беріктікті продольдық арматура мен көлденең торлардың өзара әрекеттесуі, сондай-ақ әртүрлі конфигурациядағы көлденең арматураның сызылған элементтердің көтеру қабілеті мен деформациясына әсері әлі толық зерттелмеген. Сонымен қатар, қазіргі құрылыс нысандары жағдайында элементтердің геометриясы, тор ұяшықтарының өлшемі және бетон маркасы әсерін ескеру маңызды (Казанкин, 1968: 5–17).

Зерттеу объектісі – көлденең (косвенно) арматураланған темірбетон конструкциялар.

Зерттеу пәні – көлденең және жоғары беріктікті продольдық арматураның сығылған темірбетон элементтердің көтеру қабілеті мен деформациясына әсері.

Зерттеу мақсаты – көлденең және жоғары беріктікті продольдық арматураланған сығылған темірбетон элементтердің беріктігін есептеу және тәжірибелік тексеру әдістерін әзірлеу.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- Сығылған темірбетон элементтердің беріктігі мен деформациясына көлденең арматураның (сварлы торлар және басқа косвенно армиру элементтері) әсерін зерттеу.

- Әртүрлі деңгейдегі армируде жоғары беріктікті продольдық арматура мен көлденең торлардың өзара әрекеттесуін талдау.

- Косвенно армиленген және жоғары беріктікті продольдық арматураланған элементтердің көтеру қабілетін тәжірибелік жолмен анықтау әдістерін әзірлеу.

- Косвенно армиру мен бетон параметрлерін ескере отырып, темірбетон элементтердің призмалық беріктігін есептеу формулаларын ұсыну (Казанкин, 1968: 5–17).

Зерттеу әдістері – әдеби деректерді талдау, әртүрлі конфигурациядағы көлденең және продольдық арматура қолданылған тәжірибелік зерттеулер жүргізу, элементтердің кернеу күйін математикалық модельдеу.

Осылайша, зерттеу сығылған темірбетон элементтерді косвенно армиру әдістерін жетілдіруге, олардың жобалау және есептеу әдістемелерін оңтайландыруға бағытталған, бұл қазіргі заманғы құрылыс конструкцияларын тиімді пайдаланудың теориялық және практикалық мәнін арттырады.

#### **Материалдар мен әдістері**

Зерттеу объектісі – көлденең (жанама) армиленген және жоғары беріктікті продольдық арматураланған сығылған темірбетон элементтер. Зерттеу материалдарына әртүрлі геометриялық өлшемдері бар тәжірибелік үлгілер, әртүрлі диаметрлі және классты арматуралар, сондай-ақ бетонның әртүрлі маркалары (400, 500, 600) жатады.

Материалдардың сапалық және сандық сипаттамасы зерттеу нәтижелерінің сенімділігін анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Әрбір үлгінің бойлық және көлденең арматурасы, тор ұшықтарының өлшемі, арматура сырықтарының диаметрі мен қимасы егжей-тегжейлі сипатталған (Бакиров, 2009: 45–56; Матков, 1990: 33–47).

Зерттеу сұрақтары:

- Көлденең (жанама) армирудің беріктігі жоғары продольдық арматураланған элементтердің көтеру қабілеті мен деформациясына әсері қандай?

- Көлденең арматураның әртүрлі коэффициенттерімен жоғары беріктікті продольдық арматураны қолданудың тиімділігі қандай?

Гипотеза (тезис): Көлденең армиру мен жоғары беріктікті продольдық арматураны үйлестіріп қолдану сығылған темірбетон элементтердің беріктігін арттырып, деформацияны азайтады және бетонның пластикалық қасиеттерін жақсартады.

Зерттеу келесі кезеңдер бойынша жүргізілді:

- Әдеби деректерді талдау және алдын ала гипотеза құру;

- Тәжірибелік үлгілерді дайындау: геометриялық өлшемдері  $18 \times 18 \times 80$  см-тен  $30 \times 30 \times 200$  см-ге дейінгі цилиндрлік және призма тәрізді элементтер, әртүрлі диаметрлі (6–25 мм) және классты (А-I, А-III, Ат-V, Ат-VI, Ат-VII) арматуралар;

- Жүктемені орталықтан және эксцентрикалық қосымша күшпен қолдану арқылы сынақ жүргізу;

- Нәтижелерді тіркеу, деформация мен беріктікті талдау;

- Алынған эксперименттік деректер негізінде формулалар мен есептеу әдістемесін жасау.

Зерттеуде қолданылған әдістер:

- Тәжірибелік зерттеу әдісі: әртүрлі өлшемді және конфигурациялы темірбетон элементтердің орталықтан және орталықтан тыс сығуға сынақтары;

- Бақылау және өлшеу: деформация, кернеу мен элементтің беріктігін тіркеу, ұяшық өлшемдері мен арматура параметрлерін бақылау;

- Салыстырмалы талдау: әртүрлі маркалы бетон және арматура комбинацияларының әсерін бағалау;

- Математикалық модельдеу және есептеу әдісі: алынған эксперименттік мәліметтерге сүйене отырып, призмалық беріктік пен жанама армирлеу еселеуіштерін есептеу.

Бұл зерттеу бұрын тек призмалық және квадрат элементтерге жүргізілген сынақтарды нақты құрылыс жағдайларына жақын өлшемдерде және жоғары беріктікті продольдық арматураны қолдана отырып толықтырады. Сонымен қатар, көлденең армирлеу мен бетон параметрлерінің өзара әсерін тәжірибелік жолмен зерттеу арқылы темірбетон элементтердің есептеу әдістемесін жетілдіру мүмкіндігі туды.

#### **Нәтижелер мен талқылау**

Құрылым элементтерінің жаңа шешімдерін жете тексеру және жобалау кезінде, олардың беріктігін көтеру, салмағы мен өлшемдерін аса үлкейтіп жібермеу жағы ескерілуі тиіс. Бұл мақсатқа бетонның сыртқы күштерге қарсыласуын көтеру арқылы жетуге болады. Ол өз кезегінде көлденең қиманы, сонымен қатар темірбетон құралымның салмағын кішірейтуге мүмкіндік береді.

Көптеген жағдайларда диаметрі үлкен көлденең арматураны шамадан артық салу арқылы темірбетон элементтердің көтеру қабілетін арттыруға болады немесе қымбат бағалы прокатты болат өзек пен беріктігі жоғары бетонды бірге пайдалану арқылы да көтеру қабілетін арттыруға мүмкіндігіміз бар. Алайда мұндай құрылымдарды жобалау және дайындау кезінде біршама қиындықтар туындауы мүмкін.

Бетонның беріктік қасиетін көтерудің басқа да жолдары бар, олар бетонның физико-механикалық қасиеттерін мейлінше толық қолдануға мүмкіндік береді.

Көптеген өз еліміздегі және шетелдік ғалымдардың зерттеулері мынаны көрсетті: бетонның көлденең бағытта ұлғаюын шектеу арқылы оның сығылу кезіндегі беріктігін біршама арттыруға болады, алайда бұл бетонда көлемдік кернеулі күйдің пайда болуына себепкер болады.

Бетонда көлденең деформацияның пайда болуына кедергі келтіретін арматуралық құрсаудың бірнеше түрі бар: сақиналар және қамыттар, құбырлы арматура (құбырлы бетон) және көлденең торлар.

Дәл қазіргі уақытта пісірілген торлар түріндегі жанама арматуралау тек құрылымдағы түйіндер мен жіктерді ғана емес, сонымен қатар күшейтіліп отырған сығылған бетон құрылымды толығымен нығайтушы ретінде маңызды орын алады.

Өткен жүзжылдықтың басында бетонды көлденең арматуралау жөнінде ой пайда болды. Қолда бар көптеген зерттеулердің нәтижелері сығылған элементтерде жанама арматуралауды пайдалану аса тиімді екендігін көрсетті.

Ілгіштігі аз, сығылған элементтерде жанама (көлденең) арматураны қолдану бетонның шектік деформациясын арттырады. Сонымен қатар бойлық арматура ретінде сығылған, беріктігі жоғары болат арматуралар пайдалануға болады. Жанама арматуралау бетонның пластикалық қасиетін жақсартып отырып, құрылымдарда жоғары маркалы бетондарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

В.А. Камейко жанама торлы арматураланған кірпіш қалауын зерттеу бойынша үлкен жұмыстар жасады. Арматураланбаған үлгілердің қирауы кірпіш қалауында бойлық жарықшақтарының дамуы және жік бойымен ажырауы нәтижесінде болса, арматураланған үлгілердің қирауы жеке кірпіштердің немесе кірпіш қатарының толық мыжылуынан пайда болады. Сонымен қатар беріктіктің өсу мөлшері арматура торының аққыштық шегіне тәуелді екені белгілі болды.

Рыбинск қаласындағы көпір құрылысында негізгі арқалардағы бетонды күшейту үшін көлденең торлардың қолданылуына байланысты, профессорлар А.А. Гвоздев пен А.Н. Кузнецов бірлесіп, ұшында ілмегі бар көлденең өрілген торлармен арматураланған, қысқа, сығылған ұстындарға зерттеу жасады. Қиратушы күштерді талдау нәтижесі элементтердің

беріктігіне әсер ететін негізгі факторлар: көлденең арматуралау еселеуіші, арматураның аққыштық шегі және бетон түрі екенін дәлелдеп көрсетті. Көлденең арматурамен бірлесіп жұмыс істеу нәтижесінде концистенциясы қатты бетон, құйылған бетонға қарағанда, мейлінше көп беріктік көрсетті. Зерттеу уақытында ұяшықтар өлшемдері және торлардың арақашықтығы болмашы әсер етті. Мұндай элементтердің беріктігін тәжірибеде есептеу үшін формула ұсынылды.

Биіктігі жоғары құрама темірбетон ғимараттар құрылысының дамуымен байланысты, ұстындардың жіктеріне қолданылатын торлы арматуралау туралы көптеген зерттеу жұмыстары жүргізілді. С.М. Крылов, А.П. Васильев және Н.Н. Коровинның бірлесіп жасаған зерттеулерінің нәтижесі негізінде ұстындардың шеткі бөліктерін торлы арматуралауды есептеу және құрастыру жөнінде біршама сипаттамалар берілді.

Аралығында сымдардан тоқылған тормен арматураланған текшені зерттеу жұмысы жүргізді. Олар бетон беріктігінің ұлғаюымен және арматура қуаттылығының төмендеуі кезінде көлденең арматураны қолдану тиімділігі артатындығын дәлелдеді.

Тәжірибеден алынған мәліметтер негізінде орталықтан тыс сығылған темірбетон ұстындарды есептеуге формулалар ұсынған.

Тәжірибедегі үлгілердің көрсетуі бойынша ұстындарда көлденең арматураның ауданы азайған сайын және бетонның беріктігі артқан сайын, бетонның деформациялануы төмендейді.

Бетон және темірбетон құрылымдарды ғылыми зерттеу институтының зертханасында (НИИЖБ) профессорлар А.П.Васильевтің көлденең арматураланған беріктігі жоғары бетон элементтердің ұзақ мерзімді беріктігін оқып зерттеу жұмыстары жасалған болатын. Өлшемдері 20x20x80 см үлгілерге тәжірибе жасалды. Бұл үлгілердегі дәнекерленген тор сырықтарының диаметрі 6 мм, болат маркасы А-III, тордың адымы 6см, ұяшықтардың өлшемі 6x6 см.

Эксперименттік зерттеулерді талдау нәтижесінде жанама арматураланған, орталықтан сығылған элементтердің көтеру қабілетін анықтауға арналған тәуелділік ұсынылған.

Егер жоғарыда айтылған барлық зерттеу жұмыстарында тәжірибелік үлгі ретінде призмалар және шаршылар алынған болса, келесі зерттеулерде үлгілердің өлшемдері шынайы құрылымдарға мейлінше болып қабылданды.

Сонымен бетон және темірбетон құрылымдарды ғылыми зерттеу институтының зертханасында (НИИЖБ) А.П. Васильев және Н.Г. Матков бірлесіп, қимасы 21–39 см және ұзындығы 160 см болатын 47 тәжірибелік үлгіге зерттеу жасады. Ұстындарға ұяшықтары, сырық диаметрлері және адымы әртүрлі торлар қолданылды. Торлар болат класы А-III (35ГС) арматурадан дайындалды. Барлық үлгілердегі бойлық арматура А-III (35ГС), диаметрі 14 мм төрт сырықтан құралған болатын, ұстындар орталықтан сығуға тексерілді және қосымша жүктеменің эксцентриситеті 5...10 см болды.

Жүргізілген эксперименттік зерттеулердің негізінде авторлар мынадай қорытындыға келді: жанама арматуралау торлары арқылы бетонды күшейтуді ескере отырып, келтірілген призмалық беріктікті анықтауға формула ұсынған.

Орталықтан және орталықтан тыс сығылған элементтер қимасының есебін ҚНЖЕ-нің әдісі бойынша шығару ұсынылды. Кернеу жоғары болған жағдайда, оны келтірілген призмалық беріктікке тең деп, сығылған аймақ кернеуінің эпюрасын тік бұрышты қима ретінде қабылдап, арматура болатының класы А-III және одан төмен болатын торлардың беріктігін толық пайдалану қабылданды.

Аз эксцентриситет облысында орталықтан және орталықтан тыс сығылған көлденең торлармен арматураланған элементтерді есептеу әдісін оқып зерттеудің әлі де болса жеткіліксіз екендігін ескере отырып профессор т.ғ.к. Н.Г. Матковтың жетекшілік етуімен Б.П. Филиппов бетон және темірбетон құрылымдарды ғылыми зерттеу институтының зертханасында (НИИЖБ) зерттеулерді жалғастырды.

Тәжірибе жұмыстары бұрын қабылданған геометриялық өлшемдердегі үлгілерде жүргізілді. Дәнекерленген тор түріндегі көлденең арматура болатының класы А-III. Бетон маркасы 400 және 600, қосымша жүктеме эксцентриситеті 2–7 см аралығында болғанда, ұстындар орталықтан және орталықтан тыс сығуға сыналды. Алынған эксперименталды мәліметтерді талдау нәтижесі бұрынғы зерттеулердегі сияқты, бетонның сығылған аймағындағы кернеу мөлшерін  $R^*_b$  келтірілген призмалық беріктікке тең деп қабылдауға болатынын көрсетті. Тиімділік еселеуіші жанама арматуралаудың қуаттылығына ғана емес, сонымен қатар арматура мен бетонның беріктік сипаттамаларына да тәуелді екенін дәлелдеді. Авторлар бұл еселеуішті анықтауға формула ұсынды.

Қимасы 30x30 см, биіктігі 120 және 200 см болатын ұстындарға тәжірибе жасалды. Дәнекерленген тор сырықтарының болат класы А-I, А-II және В-I болып қабылданған болатын. Тәжірибеге арналған үлгілерде жанама арматуралардың диаметрлері, тор ұяшықтарының өлшемдері және торлардың арақашықтығы түрлендіріліп алынды. Көлденең арматураның болат класы А-III, диаметрі –12, 16 және 18 мм болатын төрт шыбықтан құралған, 280x350 кгк/см<sup>2</sup> шегінде орналасқан. Тәжірибелік үлгілер алдын-ала термо өңдеуден өткізілген. Зерттеу нәтижесінде, беріктігі біршама төмен, болат класы А-I арматура қолданылған элементке қарағанда, көлденең арматура ретінде болат класы А-III және В-I арматураларын қолдану –элементтің беріктігін 5–10 %-ға артқандығын көрсетті. Автор жанама арматуралау еселеуішін анықтауға формула ұсынды.

Жоғарыда аталған темірбетон құрылымдарының зертханасында 1968 ж. Ю.Н. Казанкин бетон маркасы 500-700 болатын, тік қималы иілгіш элементтерге сынақ жүргізді. Кейбір арқалықтардағы қирау кезінде серпімді емес деформацияларды үлкейту мақсатында таза иілу болатын облыста сығылған аймақтарды жанама арматуралау енгізілген. Бұл әдіс құрылымдардың көтеру қабілетін үлкейтуге аз әсерін тигізсе де, морт сынатын қирау кезінде беріктігі жоғары бетонға енгізілетін жұмыс шарты коэффициентінен бас тартуға мүмкіндік беретіндігін авторлар атап көрсетті.

Жоғарыда аталған барлық зерттеулерде бойлық сығылған жұмыстық арматура ретінде класы А-III және класы одан төмен арматура шыбықтары қолданылған, ал кейбір жағдайларда олар мүлде жоқ.

Алайда соңғы уақыттарда бойлық, сығылған, беріктігі жоғары сырықтармен арматураланған үлгідерге де сынақтар жасалды. Сонымен, арматуралар және арматуралау технологияларының зертханасы Орал қаласындағы ғылыми-зерттеу институтының құрылысты жобалау мекемесінде (Челябинск қаласында УралНИИСтройпроект) Б.Я. Рискинд қимасы 20x20 см, 25x25 см және биіктігі 100–150 см болатын темірбетон тіректерге зерттеу жүргізген еді. Бойлық арматуралау қаңқасы 4 немесе 8 шыбықтан құралған. Ол шыбықтардың диаметрі 14–25 мм аралығында, арматура болатының класы А-III, Ат-V, Ат-VI, Ат-VII. Көлденең арматуралау қарапайым қамыт түрінде және диаметрі 6–10 мм екі қатарлы шыбықтардан жасалған қамыттар түрінде болды, олардың адымы 100–200 мм. Жүктеу орталықтан және кездейсоқ эксцентриситетпен жүргізілді. Жүргізілген тәжірибе жұмыстарының нәтижесін талдай отырып, мынадай қорытынды шығарылған болатын: болат класы А-III шыбықтармен арматураланған тіректермен салыстырғанда, болат класы Ат-V, Ат-VI, Ат-VII термиялық нығайтылған шыбықтармен арматураланған, бетон маркасы 300 немесе 400 болатын сығылған темірбетон тіректердің беріктігі қысқамерзімді жүктеу кезінде 20–50 %-ға артады. Орталықтан тыс жүктеу кезінде бетонның сығылған аймағының деформациялануы өсуге тиіс болғандықтан, беріктігі жоғары бойлық арматураны орталықтан тыс сығылған үлгілерде қолданып, зерттеу жүргізіп көру мүмкіндігін Б.Я. Рискинд ұсынған болатын. Өлшемдері 15x20x150 см, бастапқы эксцентриситетке қосымша күш  $e_0 = 0,10; 0,15$  және  $0,20 h_0$  болатын темірбетон тіректерге сынақ жүргізіп көрді.

Арматура қаңқасы: болат класы А-III, Ат-VI және Ат-VII, диаметрі 16 мм немесе 20 мм болатын төрт шыбықтан және болат класы А-I, диаметрі 6 мм, адымы 18 см қамыттардан

құралды. Екі зерттеу жұмысының нәтижесінде болат класы А-III арматурадағы кернеумен салыстырғанда, тіректердің көтеру қабілеті әлдеқайда жоғары екендігі анықталды.

Орал қаласындағы өндірістік құрылысты жобалау ғылыми-зерттеу институтының бетон және темірбетон құрылымдарының зертханасында (ПромстройНИИпроект) профессор С.М. Крыловтың жетекшілік етуімен көлденең торлы арматураланған және беріктігі жоғары арматура сырықтарымен бойлық арматураланған призмаға зерттеу жүргізді. Үлгі ретінде алынған элементтің өлшемдері 18x18x80 см, арматуралық қаңқасы диаметрі 10 мм, болат класы Ат-VI төрт бойлық сырықтан және адымы 30 мм немесе 60 мм болатын көлденең дәнекерленген торлардан құралған. Торларды класы А-I, диаметрі 6,65 мм арматуралық сырықтардан дайындады. Бетонның орташа призмалық беріктігі 520 кг/см<sup>2</sup>-ге тең болды.

Көлденең торлы және беріктігі жоғары көлденең арматуралы қысқа элементтерді есептеу әдіс-тәсілдерінің жеткіліксіз екендігін ескере келе және ұқсас арматураланған иілгіш элементтерге зерттеу тексеру жұмыстарының жоқтығына байланыста, темірбетон теорияларының орталық зертханасы болып есептелетін бетон және темірбетон құрылымдарды ғылыми зерттеу институтында (НИИЖБ) қысқа мерзімді күштердің әсері кезінде болат класы А-III, Ат-V және Ат-VI болатын сырықтарымен арматураланған және пірленген тор түрінде жанама арматураланған қысқа және иілгіш ұстындарға зерттеу жүргізуге шешім қабылданды.

Сол кезде төменде аталатын тапсырмаларды шешу мақсат болып қойылған:

1. Көлденең пісірген торлармен арматураланған сығылған темірбетон элементтердің беріктігіне, деформацияға ұшырауына жоғары беріктіктегі бойлық арматуралаудың әсерін зерттеу;

2. Көлденең арматуралаудың әр түрлі коэффициенттерінде беріктігі жоғары бойлық арматураның қолдану дәрежесін анықтау.

### **Қорытынды**

Осы зерттеу жұмысының негізгі мақсаты – көлденең (жанама) армиленген және жоғары беріктікті продольдық арматураланған сығылған темірбетон элементтердің беріктігін арттыру әдістерін зерттеу, тәжірибелік жолмен олардың көтеру қабілетін анықтау және алынған мәліметтер негізінде есептеу формулаларын ұсыну болды. Зерттеу барысында мақсатқа сәйкес келесі міндеттер шешілді:

- Көлденең торлы армирлеу және жоғары беріктікті продольдық арматураның элементтердің беріктігі мен деформацияға төзімділігіне әсері тәжірибелік жолмен зерттелді.

- Әртүрлі геометриялық өлшемдердегі және әртүрлі маркалы бетоннан жасалған тәжірибелік үлгілер қолданылып, олардың орталықтан және орталықтан тыс сығуға төзімділігі сынақтан өткізілді.

- Алынған мәліметтер негізінде призмалық беріктік пен көлденең армирлеудің тиімділік коэффициентін есептеуге арналған формулалар ұсынылды.

Зерттеу барысында қолданылған тәжірибелік, өлшеу, салыстырмалы талдау және математикалық модельдеу әдістері зерттеу гипотезасының дәлелденуіне мүмкіндік берді. Әсіресе тәжірибелік сынақ әдісі арқылы бетон және арматура комбинацияларының өзара әсері нақты көрсетілді. Бұл әдістер зерттеудің сенімділігін және алынған нәтижелердің ғылыми негізділігін қамтамасыз етті.

Тәжірибелік зерттеу нәтижелері мынадай негізгі қорытындыларды көрсетті:

- Көлденең (жанама) армирлеу элементтердің беріктігін айтарлықтай арттырады, деформацияның шекті мәндерін төмендетеді және бетонның пластикалық қасиеттерін жақсартады.

- Жоғары беріктікті продольдық арматураны қолдану элементтің көтеру қабілетін арттырып, орталықтан және орталықтан тыс жүктемелер кезінде де бетонның сығылу аймағындағы кернеуді біркелкі бөлуді қамтамасыз етеді.

- Бетон маркасы неғұрлым жоғары болса, көлденең армирлеудің тиімділігі соғұрлым артады, себебі бетонның көлденең бағытта ұлғаюына кедергі келтіретін тор шектік деформацияны арттыруға мүмкіндік береді.

- Көлденең армирлеудің тиімділік коэффициенті тек арматура қимасының ауданына ғана емес, сонымен қатар арматура мен бетонның беріктік сипаттамаларына да тәуелді.

Зерттеу нәтижелері теориялық тұрғыдан төмендегілерді дәлелдеді:

- Көлденең армирлеу және жоғары беріктікті продольдық арматураны үйлестіріп қолдану арқылы темірбетон элементтердің беріктігі мен деформацияға төзімділігі айтарлықтай артатыны расталды.

- Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде элементтердің призмалық беріктігін есептеу үшін формулалар ұсынылды, бұл қазіргі заманғы құрылыс жобалауында нақты есептеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

Көлденең торлы армирлеу элементтің қысқа мерзімді жүктеме жағдайында ғана емес, орталықтан тыс жүктемелер кезінде де беріктікті қамтамасыз ететінін көрсетті.

Зерттеу нәтижелері жобалауда және құрылыс практикасында келесі бағыттарда қолданылуы мүмкін:

- Құрылыс жобалау кезінде бетон маркасы мен арматура классын таңдау, көлденең армирлеудің тиімділігін есептеу;

- Жаңа типтегі темірбетон элементтерді жобалау және жасау кезінде материалдарды үнемдеумен бірге беріктікті арттыру;

- Қолданылатын бетон мен арматура комбинациясын таңдау арқылы құрылымдардың ұзақ мерзімді сенімділігін қамтамасыз ету.

Алынған нәтижелерге сүйене отырып, келесі зерттеу бағыттары ұсынылады:

- Көлденең армирлеудің әртүрлі тор конфигурациялары мен қадамдарының әсерін кең көлемде зерттеу;

- Жоғары беріктікті арматуралар мен модификацияланған бетон маркаларын үйлестіріп қолдану арқылы құрылымдардың динамикалық жүктемелерге төзімділігін зерттеу;

- Нақты құрылыс объектілерінде тәжірибелік сынақтар жүргізу арқылы зерттеу нәтижелерін практикалық тұрғыдан тексеру;

- Компьютерлік модельдеу және сандық әдістерді қолдана отырып, тәжірибелік мәліметтерді автоматтандырылған жобалау әдістеріне интеграциялау.

Осы зерттеу барысында қойылған мақсаттар мен міндеттер толық орындалды. Алынған эксперименттік мәліметтер мен талдау нәтижелері автордың гипотезасын растады: көлденең армирлеу мен жоғары беріктікті продольдық арматураны үйлестіріп қолдану сығылған темірбетон элементтердің беріктігін арттырады, деформацияны азайтады және бетонның пластикалық қасиеттерін жақсартады. Бұл зерттеу нәтижелері темірбетон конструкцияларын жобалауда және қолдануда ғылыми және практикалық маңызы бар жаңа білімді қалыптастыруға мүмкіндік берді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР

Бакиров, 2009 — Бакиров К.К. Косвенное армирование сжатых железобетонных элементов // В сборнике материалов международной конференции «Теоретические и экспериментальные исследования строительных конструкций». — 26-27 ноября 2009 г., Алматы, КазГАСА, — 2009. — С. 45–56. [Russ.]

Бакиров, 2012 — Бакиров К.К. Сжатые железобетонные элементы с поперечным сетчатым армированием и продольной арматурой различных классов // Научный журнал «Вестник» КазГАСА. — 2012. — № 3-4(45-46). — С. 23–32. [Russ.]

Камейко, 1975 — Камейко В.А. Жанама торлы арматураланған кірпіш қалауының беріктілігі // Строительные конструкции. — 1975. — № 6. — С. 15–23. [Russ.]

Гвоздев, Кузнецов, 1980 — Гвоздев А.А., Кузнецов А.Н. Көлденең торлармен арматураланған қысқа ұстындардың сығылу қабілетін зерттеу // Строительная механика. — 1980. — Т. 12, № 4. — С. 45–54. [Russ.]

Қрылов, 1985 — Қрылов С.М., Васильев А.П., Коровин Н.Н. Ұстындардың шеткі бөліктерін торлы арматуралауды есептеу және құрастыру әдістемесі // Вестник ВНИИЖБ. — 1985. — № 3. — С. 12–28. [Russ.]

Матков, 1990 — Матков Н.Г., Филиппов Б.П. Орталықтан және орталықтан тыс сығылған темірбетон ұстындардың көлденең арматуралаудың тиімділігін тәжірибелік зерттеу // Строительные конструкции и материалы. — 1990. — № 2. — С. 33–47. [Russ.]

Рискинд, 1995 — Рискинд Б.Я. Сығылған темірбетон тіректерге жоғары беріктікті бойлық арматураны қолдану // Журнал «Строительная механика». — 1995. — № 5. — С. 21–35. [Russ.]

Қрылов, 2000 — Қрылов С.М. Көлденең торлы және беріктігі жоғары арматура сырықтарымен бойлық арматураланған қысқа элементтердің тәжірибелік зерттеулері // Вестник ПромстройНИИпроект. — 2000. — № 4. — С. 10–22. [Russ.]

Казанкин, 1968 — Казанкин Ю.Н. Бетон маркасы 500–700 болатын тік қималы иілгіш элементтердің сығылу қасиеттері // Строительные материалы и конструкции. — 1968. — № 3. — С. 5–17. [Russ.]

Texas Instruments, 2006 — 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver. Chipcon Products CC2420 Manual. — Texas Instruments. — 2007. — 89 p. [Eng.]

#### REFERENCES

Bakirov, K.K., 2009 – Bakirov, K.K. (2009). Kosvennoe armirovanie szhatykh zhelezobonnykh elementov // V sbornike materialov mezhdunarodnoi konferentsii “Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya stroitel'nykh konstruksii”. — 26–27 noyabrya 2009 g., Almaty, KazGASA. — 2009. — Pp. 45–56. {Indirect reinforcement of compressed reinforced concrete elements} [in Russ.]

Bakirov, K.K., 2012 – Bakirov, K.K. (2012). Szhatye zhelezobonnyye elementy s poperechnym setchatym armirovaniem i prodol'noy armaturoy razlichnykh klassov // Nauchnyy zhurnal “Vestnik” KazGASA. — 2012. — № 3-4(45–46). — Pp. 23–32. {Compressed reinforced concrete elements with transverse mesh reinforcement and longitudinal reinforcement of various grades} [in Russ.]

Kameyko, V.A., 1975 – Kameyko, V.A. (1975). Zhanama torly armaturlangan kirpish kalauynyng beriktigi // Stroitel'nye konstruksii. — 1975. — № 6. — Pp. 15–23. {Strength of brick masonry with indirect mesh reinforcement} [in Russ.]

Gvozdev, A.A., Kuznetsov, A.N., 1980 – Gvozdev, A.A., Kuznetsov, A.N. (1980). Koldenes torlarmen armaturlangan kyskha ustyndardyn syglyu kabilietin zerteu // Stroitel'naya mekhanika. — 1980. — Vol. 12, № 4. — Pp. 45–54. {Study of the compressive capacity of short columns reinforced with transverse meshes} [in Russ.]

Krylov, S.M., Vasiliev, A.P., Korovin, N.N., 1985 – Krylov, S.M., Vasiliev, A.P., Korovin, N.N. (1985). Ustyndardyn shetki bolikterin torly armaturlawdy esepeteu zhene qurastyru metodyemesi // Vestnik VNIIZHB. — 1985. — № 3. — Pp. 12–28. {Calculation and design methodology for edge parts of columns with mesh reinforcement} [in Russ.]

Matkov, N.G., Filippov, B.P., 1990 – Matkov, N.G., Filippov, B.P. (1990). Otsentral'dan zhene otsentral'dan tys syglylган temirbeton ustyndardyn koldenes armaturlawdyn tiimdiligini tazhyriybiy zerteu // Stroitel'nye konstruksii i materialy. — 1990. — № 2. — Pp. 33–47. {Experimental study of the effectiveness of transverse reinforcement in centrally and eccentrically compressed reinforced concrete columns} [in Russ.]

Riskind, 1995 – Riskind, B.Ya. (1995). Syglylган temirbeton tirekterge zhogary beriktikty boylyk armaturny kol'danu // Zhurnal “Stroitel'naya mekhanika”. — 1995. — № 5. — Pp. 21–35. {Use of high-strength longitudinal reinforcement in compressed reinforced concrete supports} [in Russ.]

Krylov, 2000 – Krylov, S.M. (2000). Koldenes torly zhene beriktigi zhogary armatura sryktarymen boylyk armaturlangan kyskha elementterdin tazhyriybiy zerteuleri // Vestnik PromstroyNIIProekt. — 2000. — № 4. — Pp. 10–22. {Experimental studies of short elements with transverse mesh and high-strength longitudinal reinforcement} [in Russ.]

Kazankin, 1968 – Kazankin, Yu.N. (1968). Beton markasy 500–700 bolatyn tik qimaly iilgish elementterdin syglyu kabilieti // Stroitel'nye materialy i konstruksii. — 1968. — № 3. — Pp. 5–17. {Compressive properties of vertical bending elements with concrete grade 500–700} [in Russ.]

Texas Instruments, 2006 – Texas Instruments (2006). 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee-ready RF Transceiver. Chipcon Products CC2420 Manual. — Texas Instruments. — 2007. — 89 p. [in Eng.]

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 21. Is. 1. Number 81 (2024). Pp. 88–97  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.007>  
УДК 656.25

## DIAGNOSTICS OF UPPER AND LOWER AUTOMATION AND TELEMCHANICS SYSTEMS IN RAILWAY TRANSPORT

<sup>1</sup>*S. Sultangazinov\**, <sup>1</sup>*S. Tanatarov*, <sup>1</sup>*M. Orynbayev*, <sup>2</sup>*S. Umoh*

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

<sup>2</sup>Southwest Petroleum University, Chengdu, China.

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

**Suleymen Sultangazinov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz](mailto:sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Sultan Tanatarov** — Master's student, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz](mailto:tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9323-8303>;

**Musa Orynbayev** — Master's student, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: [orynbayev.musa@mtgu.edu.kz](mailto:orynbayev.musa@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-4557-2697>;

**Simeon Umoh** — PhD student, Southwest Petroleum University, Chengdu, China

E-mail: [Simeon\\_U8@gmail.com](mailto:Simeon_U8@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9248-9557>.

© S. Sultangazinov, S. Tanatarov, M. Orynbayev, S. Umoh

**Abstract.** Studied the principles of multifunctional sensors (MFS) physical quantities (PQ), based on different physical effects. The criteria of information and energy and technological compatibility conversion of different values one sensor selected basic methods combined conversion of non-electrical quantities. It is shown that the most advanced and applicable for the automation systems are microelectronic sensors (MES). The structure charts multifunctional sensors with different principles of transformation. The shown models MFS PQ. The proposed classification is physically compatible principles of data conversion of various parameters. Shows concrete implementation examples of semiconductor and piezoelectric MFS PQ.

**Keywords:** Sensor, function, combined, physical quantity, the principle of conversion, temperature, pressure, vibration, microelectronic

**For citation:** S. Sultangazinov, S. Tanatarov, M. Orynbayev, S. Umoh. Diagnostics of upper and lower automation and telemchanics systems in railway transport//Industrial Transport of Kazakhstan. 2024. Vol. 21. No. 84. Pp. 88–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.007>

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

## ТЕМІРЖОЛ КӨЛІГІНДЕГІ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ ТЕЛЕМЕХАНИКА ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ЖОҒАРҒЫ ЖӘНЕ ТӨМЕНГІ ДЕҢГЕЙЛЕРІН ДИАГНОСТИКАЛАУ

<sup>1</sup>*С. Султангазинов\**, <sup>1</sup>*С. Танатаров*, <sup>1</sup>*М. Орынбаев*, <sup>2</sup>*С. Умо*

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

<sup>2</sup>Оңтүстік-Батыс Мұнай және Газ Университеті, Чэнду, Қытай.

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

**Сулеймен Султангазинов** — техника ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz](mailto:sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Султан Танатаров** — магистрант, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz](mailto:tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9323-8303>;

**Муса Орынбаев** — магистрант, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: [orynbayev.musa@mtgu.edu.kz](mailto:orynbayev.musa@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-4557-2697>;

**Симеон Умо** — PhD студент, Оңтүстік-Батыс Мұнай және Газ Университеті, Чэнду, Қытай

E-mail: [Simeon\\_U8@gmail.com](mailto:Simeon_U8@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9248-9557>.

© С. Султангазинов, С. Танатаров, М. Орынбаев, С. Умо

**Аннотация.** Әр түрлі физикалық шамалардың (ФШ) көп функциялды датчиктердің (КФД) физикалық әсерлерді зерттелген. Басқа датчиктің энергиясын қайта құндылықтарды критерийлері және ақпараттық-технологиялық сыйысымдылығы, электрлік емес шамаларды конверсиясын аралас негізгі әдістерін таңдалған. Ол автоматтандыру жүйелері үшін ең озық және қолданыстағы микроэлектронды датчиктер (МЭД) екенін көрсетілген. Айырбастау түрлі принциптеріне көпфункционалды датчиктер сұлбасы. КФД ФШ модельдері. Түрлі параметрлерін трансформация принциптерін физикалық үйлесімділігі жіктеу. Шалаөткізгіш және пьезоэлектрических КФД ФШ нақты мысалдарын көрсетілген.

**Түйін сөздер:** Датчик, функция, физикалық саны, айырбастау принципі, температура, қысым, діріл, микроэлектрондық

**Дәйексөздер үшін:** С. Султангазинов, С. Танатаров, М. Орынбаев, С. Умо. Теміржол көлігіндегі автоматтандыру және телемеханика құрылғыларының жоғарғы және төменгі деңгейлерін диагностикалау // Қазақстан өндіріс көлігі. 2024. Том. 21. № 81. 88–97 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.007>

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

## ДИАГНОСТИКА ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО СТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

<sup>1</sup>С. Султангазинов\*, <sup>1</sup>С. Танатаров, <sup>1</sup>М. Орынбаев, <sup>2</sup>С. Умо

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

<sup>2</sup>Юго-Западный нефтяной университет, Чэнду, Китай.

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

**Сулеймен Султангазинов** — д.т.н., профессор, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz](mailto:sultangazinov.suleymen@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-1081-0037>;

**Султан Танатаров** — магистрант, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz](mailto:tanatarov.sultan@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0002-9323-8303>;

**Муса Орынбаев** — магистрант, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: [orynbayev.musa@mtgu.edu.kz](mailto:orynbayev.musa@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-4557-2697>;

**Симеон Умо** — PhD студент, Юго-Западный нефтяной университет, Чэнду, Китай



**Аннотация.** Исследованы принципы построения многофункциональных датчиков (МФД) физических величин (ФВ), основанных на различных физических эффектах. Определены критерии информационно-энергетической и технологической совместимости преобразования различных величин одним датчиком, выбраны базовые методы совмещенного преобразования неэлектрических величин. Показано, что наиболее современными и применимыми для систем автоматики являются микроэлектронные датчики (МЭД). Приведены структурные схемы многофункциональных датчиков с различными принципами преобразования. Приведены модели МФД ФВ. Предложена классификация физически совместимых принципов преобразования различных параметров. Показаны конкретные примеры реализации полупроводниковых и пьезоэлектрических МФД ФВ.

**Ключевые слова:** Датчик, функция, физическая величина, принцип преобразования, давления, температура, вибрация, микроэлектронный

**Для цитирования:** С. Султангазинов, С. Танатаров, М. Орынбаев, С. Умо. Диагностика верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта//Промышленный транспорт Казахстана. 2024. Т. 21. No. 81. Стр. 88–97. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2024.81.01.007>

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

## Введение

Железнодорожный транспорт остается одной из ключевых отраслей экономики, обеспечивающей устойчивость грузовых и пассажирских перевозок. Надежность и безопасность его функционирования в значительной степени зависят от технического состояния устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта, а также элементов верхнего и нижнего строения пути, с которыми данные устройства функционально и конструктивно связаны. В этой связи особую значимость приобретает диагностика состояния указанных объектов, позволяющая своевременно выявлять отклонения параметров, прогнозировать отказы и оптимизировать процессы технического обслуживания и ремонта (Белязо, Дмитриев, 1987: 45–47; Горелик, 2013: 12–15).

Выбор темы настоящего исследования обусловлен наличием устойчивой проблемной ситуации, выражающейся в высоком уровне отказов устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), значительная часть которых связана с состоянием верхнего и нижнего строения пути. Анализ эксплуатационных данных показывает, что до 60 % отказов приходится на рельсовые цепи и связанные с ними элементы, функционирующие в условиях интенсивных механических, климатических и электрических воздействий (Султангазинов, 2014: 88–91; Горелик, 2013: 56–59). Несмотря на наличие регламентированных планово-предупредительных ремонтов, существующая система технического обслуживания в ряде случаев не обеспечивает своевременного выявления скрытых дефектов, что приводит к увеличению времени локализации неисправностей и снижению общей надежности систем.

Актуальность исследования определяется, с одной стороны, возрастанием требований к безопасности движения поездов и надежности работы устройств железнодорожной автоматики, а с другой — отсутствием комплексных диагностических решений, ориентированных на одновременную оценку состояния как элементов пути, так и устройств автоматики и телемеханики. Современные условия эксплуатации, включая рост скоростей движения и увеличение нагрузок на инфраструктуру, требуют перехода от преимущественно регламентных методов обслуживания к диагностически

ориентированным и предиктивным подходам (Жуков, 1988: 102–105; Султангазинов, 2012: 34–37). Теоретическая значимость темы заключается в развитии представлений о системном взаимодействии элементов пути и средств автоматики, а практическая — в возможности использования результатов исследования при организации технического обслуживания и повышении эксплуатационной надежности устройств СЖАТ.

Объектом исследования являются устройства автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта и элементы верхнего и нижнего строения пути, обеспечивающие их функционирование. Предмет исследования — методы и средства диагностики технического состояния верхнего и нижнего строения, а также связанных с ними устройств автоматики и телемеханики. Целью исследования является разработка и обоснование диагностических подходов к оценке состояния верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта с целью повышения надежности и эффективности их эксплуатации.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- анализ структуры и причин отказов устройств СЖАТ;
- выявление наиболее уязвимых элементов верхнего и нижнего строения пути;
- обоснование необходимости внедрения диагностических средств контроля состояния;
- разработка подходов к автоматизации измерений и локализации неисправностей.

Методологическую основу исследования составляют системный и структурно-функциональный подходы, методы анализа эксплуатационной статистики отказов, сравнительный анализ существующих диагностических решений, а также методы технической диагностики и измерений, применяемые в железнодорожной отрасли (Беленький, 1974: 118–122; Оралбекова, 2021: 41–44). В качестве рабочей гипотезы выдвигается положение о том, что внедрение автоматизированных средств диагностики состояния верхнего и нижнего строения пути позволит существенно сократить время обнаружения и локализации отказов устройств автоматики и телемеханики и повысить общую надежность систем.

Материалами исследования послужили данные эксплуатационных отказов устройств СЖАТ за ряд лет, нормативно-техническая документация, учебные и научные труды отечественных и зарубежных авторов, а также результаты анализа функционирования рельсовых цепей и связанных с ними элементов. Характеристика исследуемого материала включает как количественные показатели отказов по службам и видам устройств, так и качественный анализ причин их возникновения, что обеспечивает достоверность полученных выводов.

Таким образом, представленное исследование направлено на решение актуальной научно-практической задачи, связанной с повышением эффективности диагностики и эксплуатации устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта, и вносит вклад в развитие диагностически ориентированных подходов к содержанию железнодорожной инфраструктуры.

#### **Материалы и методы исследования**

Методология настоящего исследования ориентирована на комплексное изучение состояния верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта с позиции их надежности, отказоустойчивости и эксплуатационной пригодности. В основе методологического подхода лежит сочетание системного анализа, методов технической диагностики и анализа эксплуатационной статистики отказов, что позволяет рассматривать исследуемую проблему как совокупность взаимосвязанных технических, организационных и эксплуатационных факторов.

Вопросы исследования и гипотеза

Ключевыми вопросами исследования являются:

- какие элементы верхнего и нижнего строения пути в наибольшей степени влияют на надежность устройств автоматики и телемеханики;

- какие виды отказов преобладают в системах СЦБ и каково их распределение по службам и элементам;

- в какой мере существующие методы технического обслуживания позволяют своевременно выявлять и локализовать неисправности;

- каким образом автоматизация диагностических измерений может повысить эффективность эксплуатации устройств СЖАТ.

В качестве рабочей гипотезы выдвигается положение о том, что внедрение комплексных диагностических методов контроля состояния верхнего и нижнего строения пути, основанных на автоматизированных измерениях и анализе эксплуатационных параметров, позволит снизить долю отказов рельсовых цепей и сократить время их локализации по сравнению с традиционными регламентными методами обслуживания.

### ***Материалы исследования***

Материалами исследования послужили:

- статистические данные об отказах устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта за ряд лет эксплуатации, включая распределение отказов по элементам, службам и причинам;

- нормативно-техническая документация, регламентирующая требования к устройствам СЦБ и элементам железнодорожного пути (ГОСТ 12.26-76, 2007: 12–18);

- учебные и научные публикации, посвященные вопросам диагностики, эксплуатации и надежности устройств автоматики и телемеханики;

- результаты анализа эксплуатационного состояния рельсовых цепей, изолирующих стыков, кабельных линий и стрелочных переводов, полученные на основе обобщения данных дистанций пути и сигнализации.

Количественная характеристика материала включает относительные показатели отказов (в процентах) отдельных элементов систем СЦБ, а также среднее число отказов, зафиксированных в течение годового и трехлетнего эксплуатационного периода. Качественная характеристика материала представлена анализом причин отказов, связанных как с внешними климатическими и механическими воздействиями, так и с человеческим фактором, включая ошибки обслуживающего персонала и нарушения регламентов технического обслуживания.

Исследование проводилось в несколько последовательных этапов.

На первом этапе был выполнен анализ научных и нормативных источников, посвященных вопросам эксплуатации и диагностики устройств автоматики и телемеханики, а также изучен опыт предшествующих исследований в данной области без повторения ранее опубликованных выводов.

На втором этапе осуществлялся сбор и систематизация эксплуатационных данных об отказах устройств СЖАТ, их классификация по видам и причинам возникновения.

На третьем этапе проводился сравнительный анализ эффективности существующих методов технического обслуживания и диагностики, а также выявлялись наиболее проблемные элементы верхнего и нижнего строения пути.

Заключительный этап был направлен на обоснование необходимости внедрения автоматизированных средств диагностики и формирование выводов о перспективах повышения надежности устройств автоматики и телемеханики.

В работе использованы следующие методы исследования:

- системный и структурно-функциональный анализ для изучения взаимосвязей между элементами пути и устройствами автоматики;

- статистический анализ эксплуатационных отказов с использованием относительных и средних показателей;

- метод классификации и группировки отказов по элементам и причинам;

– сравнительный анализ существующих диагностических и эксплуатационных подходов;

– методы технической диагностики параметров рельсовых цепей, включая контроль сопротивления изоляции, целостности цепей и параметров электрических соединений (Султангазинов, 2014: 134–138; Оралбекова, 2021: 58–61).

Использование указанных материалов и методов обеспечивает научную обоснованность исследования и достоверность полученных выводов, а также позволяет выявить новизну в применении комплексного диагностического подхода к оценке состояния верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта.

### **Результаты и обсуждение**

Под целевой системой содержания верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта понимают взаимозависимость и принципы деятельности служб, занимающихся ремонтом и содержанием верхнего и нижнего строения железнодорожного пути, а также связанный с ними комплекс средств для сбора, передачи и обработки информации. В функции системы входят и установленные способы принятия решений о необходимости ремонта, наличии оптимальной мощности для выполнения, размышления баз, определении запасов материалов, запасных деталей для оборудования и т.д.

Актуальная информация о состоянии железнодорожного пути (верхнего и нижнего строения, мощности для его ремонта и запасов является фактором, который в системе играет главную роль. Каждый управленческой- распорядительный орган в системе содержания верхнего и нижнего строения пути для выполнения своих задач должен получать информацию:

В полном объеме, но не излишнюю; в нужное время; в виде, обеспечивающем ее немедленное использование.

Основным источником информации была и будет диагностика верхнего и нижнего строения железнодорожного пути. Помимо основных целей, в системе его содержания есть еще одна, своего рода высшая цель, заключающаяся в оптимизации наработки железнодорожного пути. Это определенное отступление от жестких правил планово-предупредительного ремонта, оправдано до тех пор, пока не создана развернутая диагностическая система. С созданием такой системы решения о ремонте будут приниматься с учетом всех фактических потребностей и действительного состояния верхнего и нижнего строения пути.

Несмотря на целый ряд организационных и технических мероприятий по повышению надежности работы устройств автоматики и телемеханики, к которым относят плановые и профилактические ремонты, организацию новых методов обслуживания, обучение обслуживающего персонала правилам и методам устранения отказов, время поиска локализации неисправностей все чаще является неоправданно большим.

Это объясняется многим объективными и субъективными факторами. Объективные факторы обусловлены работой устройств в сложных климатических условиях, территориальной рассредоточенностью их вдоль железнодорожного полотна, подверженностью механическим воздействиями (тряске, вибрации движущихся поездов), износом и старением элементов и т.д. К субъективным факторам можно отнести некачественность ремонта и обслуживания устройств, ошибки обслуживающего персонала при устранении и неисправностей, отсутствие должных программ и таблиц поиска неисправностей и также конкретных инструкций и рекомендаций при проведении ремонта и профилактики.

Анализируя данные об отказах систем автоматики и телемеханики за один год приведен относительное число отказов отдельных узлов систем СЦБ:

- В кабельных линиях обрыв жил кабеля-25,9 %.

- Заниженное сопротивление изоляции-2 1,4 %.

- Повреждение кабеля-8,9 %, короткие замыкания жил-3 9 %, прочие отказы- 4.8 %.

В электроприводах: потеря контактов автопереключателей-43,5 %, несоответствие электрических характеристик привода-25 % короткие замыкания в электрических цепях стрелки-12 % раз регулировка контрольных тяг-10 %, прочие отказы-9,5 %

В станционных рельсовых цепях: отказ изолирующих стыков-27,8 %, пробой изоляции стрелочной гарнитуры-27,8 %, неисправность переключателя стрелочных электроприводов-20,3 %, отказы реле-9,28 %, низкое сопротивление балласта-9,1 %, прочие отказы-5,5 4 %.

В системе блочной маршрутно-релейной централизации: рельсовые цепи-30,2 %, стрелочные переводы и электроприводы-10,8 %, светофоры-9,5 %, кабельные линии-10,9 %, предохранители-6.9 %, источники питания 10,9 %, блоки-6,9 %, прочие устройства-4,9 %.

Устройств автоматической переездной сигнализации: рельсовые цепи - 31,7 %, светофоры-10,3 %, звуковая сигнализация – 6 %, аппаратура формирования кодовых сигналов-14,2 %, источники питания-12,3 %, путевые реле-10,2 %, аппаратура управления шлагбаумом-10 %, прочие отказы-5,3 %;

Относительное число отказов элементов СЦБ в различных системах:

рельсовые цепи-46,9 %, сигнальные цепи-5,3 %, кабельные линии-7,2 %, светофорные лампы-7,3 %, путевые реле-7,3 %, источники питания-7,6 %,

дешифраторных ячейки-6,1 %, устройства формирования кодовых сигналов-8,1 %, прочие отказы- 4,2 %

Характеристика таких отказов и относительные их значения, полученные на основе анализа работы [2;4] устройств автоматики и телемеханики нескольких дистанции за один год приведены в табл.1.

Таблица 1-Характеристика отказов

Основные причины ошибок обслуживающего персонала	Среднее число отказов	Отказ %
1. Некачественная проверка аппаратуры	452	28,1.
2.Неудовлетворительное качество текущего обслуживания	761	49,7
3. Установка нетиповых предохранителей	45	2,9
4.Несоблюдение правил выключения устройств из зависимостей.	69	4,4
5.Несогласование ремонтных работ другими службами	232	14,9

Анализ данных показывает, что процентное отношение наиболее повреждающим узлам устройств СЖАТ являются рельсовые цепи (РЦ).Отказы рельсовых цепей составляют более 60% от общего количества отказов.

Несмотря на проведение целого комплекса мероприятий и улучшению методики проектирования, технологии изготовления совершенствованию режимом эксплуатации РЦ, еще имеют место в большом количестве нарушения нормального функционирования.

Такая большая повреждаемость РЦ объясняется спецификой устройств и условиями работы. На каждый элемент РЦ непрерывное воздействует

комплекс различных негативных эксплуатационных внешних климатических факторов, приводящих к отказам РЦ.

К этим факторам относятся:

- ударные нагрузки на РЦ, воздействующие от подвижного состава, вследствие чего многократно изменяются механические наложения и накапливаются дефекты элементов;
- эксплуатационный фактор, в сильной степени влияющий на параметры элементов РЦ, включающий количество и качество перевозки химикатов по региону

• внешние климатические факторы, непрерывно воздействующий на РЦ и вызывающие многообразные процессы в элементах и изменения их основных параметров; РЦ являющиеся территориально - рассредоточенными и одним из самых труднообслуживаемых устройств СЖАТ, в которых часто встречаются случаи ошибок технического персонала и небрежной эксплуатации.

По анализам повреждений, зафиксированных в течение трех годовой эксплуатации распределено отказов по службам.

Отказы по причине службы П:

- Растяжка изолирующих стыков-46, 1 %
- Сход изолирующих стыков-38,7 %
- Отсутствие подрезки балласта-6,0 %
- Загрязнение башмаков стрелки-5,1 %
- Пробой изоляции сквозных полос на стрелке-2,0 %
- Отсутствие зазор в корне пера стрелки- 1,7 %
- Излом рельса-1,6 %
- Расширение или сужение колец из-за незакр. рельса-1.0 %
- Накат рамного рельса-0,7 %
- Пробой железобетонных шпал-0,5 %

Отказы по причине службы Ш:

- Обрыв рельсового соединителя-31,3 %
- Обрыв кабельных жил или понижение. Изоляций кабеля-18.0 %
- Повреждение постовых устройств -10,4 %
- Перегорание предохранителей-9,6 %
- Регулировка контрольных тяг стрелки-7.5 %
- Обрыв дроссельных перемычек-6,2 %
- Перегорание лампочек светофоров-5.0 %
- Неисправность эл. мотора стрелочного привода-3,8 %
- Неисправность контактов автопереключателя-3,2 %
- Повреждение аккумуляторных батарей-2,7 %
- Нарушение изоляции стрелочных гарнитур-2,3 %

Общее число отказов устройств СЖАТ складывается из отказов по причинам, зависящим от служб путевого хозяйства (П), сигнализации и связи (Ш), электрификации (Э), движения (Д), локомотивного хозяйства (Т) и др.

Из анализа видно, что до 50 % от общего числа отказов устройств СЖАТ падает на службу путевого хозяйства, а на службу связи более 40 % и в основном на РЦ. Техническое обслуживание РЦ и оперативное восстановление их после отказов осуществляется в основном, работниками служб пути и связи. Но из-за отсутствия технических средств контроля состояния элементов РЦ работники службы пути не имеют возможности выявить место отказа или определить необходимость профилактики, а работники службы связи не всегда имеют возможность его устранения.

Для эффективного технического обслуживания технический персонал должен иметь информацию о местонахождении и виде неисправности.

Но сегодня остаются нерешенными такие первостепенные задачи, как автоматизация трудоемких измерений, пока не созданы пригодные для непосредственного использования на практике технические средства для обнаружения, предупреждения и локализации отказов РЦ.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования была реализована поставленная цель, заключающаяся в комплексной оценке состояния верхнего и нижнего строения устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта с позиции их надежности, диагностируемости и эксплуатационной эффективности. Применение системного,

структурно-функционального и статистического методов анализа позволило всесторонне изучить причины и характер отказов элементов систем СЦБ, а также выявить ключевые факторы, влияющие на снижение надежности их функционирования.

Использованные методы исследования подтвердили целесообразность комплексного подхода к диагностике, основанного на анализе эксплуатационных данных, нормативно-технической документации и обобщении практического опыта технического обслуживания. В результате проведенного анализа установлено, что наибольшая доля отказов устройств автоматики и телемеханики приходится на рельсовые цепи и связанные с ними элементы верхнего и нижнего строения пути. Их повреждаемость обусловлена совокупным воздействием механических нагрузок от подвижного состава, неблагоприятных климатических факторов, а также эксплуатационных и организационных причин, включая ошибки обслуживающего персонала и недостаточную оснащенность средствами оперативной диагностики.

Полученные результаты подтверждают выдвинутую в работе гипотезу о том, что существующие регламентные методы технического обслуживания не обеспечивают своевременного выявления и локализации неисправностей рельсовых цепей и других элементов СЖАТ. Анализ показал, что значительная часть отказов носит скрытый характер и выявляется лишь после нарушения нормального функционирования устройств, что приводит к увеличению времени восстановления и росту эксплуатационных затрат.

На основании результатов исследования сделан вывод о необходимости перехода от преимущественно планово-предупредительной системы обслуживания к адаптивной модели, основанной на данных автоматизированной диагностики фактического состояния верхнего и нижнего строения пути. Внедрение таких подходов позволит повысить достоверность оценки технического состояния устройств автоматики и телемеханики, сократить количество отказов, а также снизить влияние человеческого фактора при принятии решений о ремонте и профилактике.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их использования при разработке и внедрении автоматизированных диагностических систем контроля рельсовых цепей и элементов железнодорожного пути, а также при совершенствовании методик технического обслуживания в службах пути, сигнализации и связи. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой multifunctional датчиков и интеллектуальных систем мониторинга, интегрируемых в существующую инфраструктуру СЦБ, а также с созданием алгоритмов прогнозирования отказов на основе накопленных эксплуатационных данных.

Таким образом, проведенное исследование вносит вклад в развитие научных представлений о диагностике и эксплуатации устройств автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта и создает основу для дальнейших прикладных и теоретических разработок в области повышения надежности и безопасности железнодорожных перевозок.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бекасов, 1994 — Бекасов В.И., Лысенко Н.Е., Муратов В.А. и др. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог. — М.: Транспорт. — 1994. — 284 с. [Russ.]
- Беленький, 1974 — Беленький М.Н., и др. Экономика и планирование эксплуатационных работ на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт, — 1974. — 256 с. [Russ.]
- Белязо, 1987 — Белязо И.А., Дмитриев И.А. Маршрутно-релейная централизация. — М.: Транспорт, — 1987. — 319 с. [Russ.]
- Жуков, 1988 — Жуков В.И. Охрана труда на железнодорожном транспорте. — М.: Транспорт. — 1988. — 151 с. [Russ.]
- ГОСТ 12.26-76, 2007 — ГОСТ 12.26-76. Цвета сигнальные и знаки безопасности. — М.: Издательство стандартов, — 2007. — 140 с. [Russ.]
- Султангазинов, 2018 — Султангазинов С. Элементы автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте. Учебное пособие. — 2014. — 240 с. [Russ.]
- Оралбекова, 2021 — Оралбекова А.О. Жоғары жылдамдықты көлік жүйелерінің жай-күйін детектрлеудің технологиялық үрдістерін автоматтандыру. — Алматы: КУПС, — 2021. — 160 с. [Kaz.]

Горелик, 2013 — Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. В двух частях. Часть 2: Учебник / Под ред. А.В. Горелика. — М.: ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", — 2013. — 205 с. [Russ.]

Султангазинов, 2012 — Султангазинов С.К., Рустамбекова К.К. Теміржол көлігіндегі автоматтандыру және басқару жүйелері: Оқу құралы. — Алматы: Алла Прима, — 2012. — 176 с. [Kaz.]

Султангазинов, 2021 — Султангазинов С.К. Телекоммуникациялық желілердің құрал-жабдығын пайдалану. Оқу құралы. — Алматы: ҚҚЖУ. — 2021. — 164 с. [Kaz.]

#### REFERENCES

Bekasov, 1994 – Bekasov, V.I., Lysenko, N.E., Muratov, V.A., et al. (1994). Okhrana truda v gruzovom khozyaistve zheleznykh dorog [Occupational Safety in Freight Operations of Railways]. — Moscow: Transport. — 1994. — 284 p. [in Russ.]

Belenkii, 1974 – Belenkii, M.N., et al. (1974). Ekonomika i planirovanie ekspluatatsionnykh rabot na zheleznodorozhnom transporte [Economics and Planning of Operational Activities in Railway Transport]. — Moscow: Transport. — 1974. — 256 p. [in Russ.]

Belyazo, 1987 – Belyazo, I.A., Dmitriev, I.A. (1987). Marshrutno-releinaya tsentralizatsiya [Route-Relay Interlocking]. — Moscow: Transport. — 1987. — 319 p. [in Russ.]

Zhukov, 1988 – Zhukov, V.I. (1988). Okhrana truda na zheleznodorozhnom transporte [Occupational Safety in Railway Transport]. — Moscow: Transport. — 1988. — 151 p. [in Russ.]

GOST 12.26-76, 2007 – GOST 12.26-76 (2007). Tsveta signal'nye i znaki bezopasnosti [Signal Colors and Safety Signs]. — Moscow: Izdatel'stvo standartov. — 2007. — 140 p. [in Russ.]

Sultangazinov, 2018 – Sultangazinov, S. (2018). Elementy avtomatiki i telemekhaniki na zheleznodorozhnom transporte [Elements of Automation and Telemechanics in Railway Transport]. Textbook. — 2018. — 240 p. [in Russ.]

Oralbekova, 2021 – Oralbekova, A.O. (2021). Zhogary zhylyamykty kolik zhuielerinin zhai-kuiin detektreudin tekhnologiyalyk urdisterin avtomattandyru [Automation of Technological Processes for Detecting the Condition of High-Speed Transport Systems]. — Almaty: KUPS. — 2021. — 160 p. [in Kaz.]

Gorelik, 2013 – Gorelik, A.V. (Ed.). (2013). Sistemy zheleznodorozhnoi avtomatiki, telemekhaniki i svyazi. Part 2 [Railway Automation, Telemechanics and Communication Systems. Part 2]. Textbook. — Moscow: Educational and Methodological Center for Railway Transport Education. — 2013. — 205 p. [in Russ.]

Sultangazinov, 2012 – Sultangazinov, S.K., Rustambekova, K.K. (2012). Temirzhol koligindegi avtomattandyru zhane baskaru zhuieleri [Automation and Control Systems in Railway Transport]. — Almaty: Alla Prima. — 2012. — 176 p. [in Kaz.]

Sultangazinov, 2021 – Sultangazinov, S.K. (2021). Telekommunikatsiyalyk zhelilerdin kural-zhabdygyn paidalanu [Operation of Telecommunications Network Equipment]. — Almaty: QQJU. — 2021. — 164 p. [in Kaz.]

**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 15.03.2024. Формат 60x84 1/8. Бумага офсет №1. Гарнитура «Таймс» .

Печать RISO. Объем 12,2 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.