

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

рецензируемый научный журнал

MODERN
TRANSPORTATION
SYSTEMS AND
TECHNOLOGIES
peer-review journal

transsyst.ru

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

«ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Электронный рецензируемый научный журнал
Выходит ежеквартально – 4 раза в год
Основан в 2013 году

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ (Российский индекс научного цитирования)
- BAK (Высшая аттестационная комиссия)
- Google Scholar
- WorldCat
- Crossref
- CyberLeninka

КОНТАКТЫ

Адрес: 190131, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 9
E-mail: transsyst@mail.ru
WEB: www.transsyst.ru
Телефон: +7 (911) 2384445

Научный редактор В.В. Никитин, доктор технических наук, профессор
Редактор сайта М.Д. Боярский
Ответственный редактор О.Ю. Смирнова
Верстка Д.А. Полунин

СВИДЕТЕЛЬСТВО о регистрации средства массовой информации

Эл № ФС77-81789 от 31.08.2021 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

ОПИСАНИЕ ЖУРНАЛА

Сетевой электронный журнал «Инновационные транспортные системы и технологии» публикует статьи фундаментального характера и прикладного направления, а также обзорные статьи, относящиеся ко всем видам транспортной технологии

ПУБЛИКАЦИЯ В ЖУРНАЛЕ

Журнал отбирает материал для публикации из числа присланных для рассмотрения рукописей. В ходе отбора проводится независимое двойное слепое рецензирование членами редакционной коллегии и внешними экспертами.
Для публикации рукопись, а также все сопроводительные и дополнительные файлы следует направить в редакцию через личный кабинет на сайте журнала по URL: <http://transsyst.ru/>
Рукопись и дополнительные материалы следует оформить в соответствии с правилами редакции, см. подробно по <https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions>

ISSN 2782-3733 (Online)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Том 11 | № 3 | 2025

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Титова Тамара Семёновна

д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Первый проректор – Проректор по науке ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Смирнов Сергей Александрович

Руководитель Научно-образовательного центра инновационного развития пассажирских железнодорожных перевозок имени А.А. Зайцева ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР

Никитин Виктор Валерьевич

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Электротехника и теплоэнергетика», профессор кафедры «Электрическая тяга» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Богданов Александр Владимирович, д.физ.-мат.н., профессор СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия;
Валинский Олег Сергеевич, к.т.н., ректор ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Верескун Владимир Дмитриевич, д.т.н., профессор, ректор РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия;
Воробьев Александр Алфеевич, д.т.н., доцент, Заведующий кафедрой «Наземные транспортно-технологические комплексы», Профессор кафедры «Электрическая тяга», и.о. заведующего кафедрой «Методы и приборы неразрушающего контроля» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Журавлева Наталья Александровна, доктор экономических наук, профессор Заведующий кафедрой «Экономика транспорта», Директор Института прикладной экономики и бухгалтерского учета железнодорожного транспорта ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Клюшпис Йоханнес, доктор наук 2-й степени, полный профессор Дегендорфской высшей технической школы, Мюнхен, Германия;
Колесников Владимир Иванович, академик РАН, д.т.н., профессор, президент РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия;
Кручинина Ирина Юрьевна, д.т.н., директор ИХС РАН, Санкт-Петербург, Россия;
Ли Вэйли, PhD, профессор Пекинского транспортного университета, Пекин, КНР;
Линь Гобинь, PhD, профессор, директор Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;
Ледяев Александр Петрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тоннели и метрополитены», ведущий научный сотрудник Научно-аналитической группы по развитию городского транспорта ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Ма Чжисюнь, PhD, старший научный сотрудник Национального транспортно-инженерного центра Маглев, доцент Университета Тунцзи, Шанхай, КНР;
Мулюков Радик Рафикович, член-кор. РАН, д.физ.-мат.н., директор Института проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Россия;
Ни Фэй, PhD, младший научный сотрудник, Национальный транспортно-инженерный центр Маглев, Университет Тунцзи, Шанхай, КНР;
Никитенко Владимир Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика» РУТ (МИИТ), Москва, Россия;
Подсорин Виктор Александрович, д.э.н., профессор РУТ (МИИТ), Москва, Россия;
Повадол Сирирангси, Dr., Заместитель декана Факультета логистики и управления транспортом Паньятиватского института управления, Паккред, Таиланд;
Смирнов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Мосты» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Соломин Владимир Александрович, д.т.н., профессор РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия;
Стэфан Ричард, д.т.н., полный профессор Факультета электротехники, заведующий Лабораторией электрических машин Федерального университета Рио-де-Жанейро, Рио-де-Жанейро, Бразилия;
Талантова Клара Васильевна, д.т.н., доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия;
Терешина Наталья Петровна, д.э.н., профессор, Заведующая кафедрой «Экономика и управление на транспорте» РУТ (МИИТ), Москва, Россия;
Хан Хён-Сук, PhD, начальник Департамента Маглев и линейных двигателей, старший научный сотрудник Корейского института машиностроения и материаловедения, Тэджон, Республика Корея.

**"MODERN TRANSPORTATION
SYSTEMS AND TECHNOLOGIES"**

Electronic peer-reviewed research journal
Issued 4 times a year (quarterly)
Established in 2013

INDEXING

- eLibrary (Russian Science Citation Index)
- Higher Attestation Commission of Russia's
Ministry of Education and Science (VAK)
- Google Scholar
- WorldCat
- Crossref
- CyberLeninka

CONTACTS

Address: 190031, St. Petersburg,
115 Moskovskiy Ave., room 9/11-5
E-mail: transsyst@mail.ru
WEB: www.transsyst.ru
Телефон: +7 (911) 2384445

Science Editor V.V. Nikitin,
Doctor of Technical Science, Professor
WEB- Editor M.D. Boyarsky
The Executive Editor O.Yu. Smirnova
Layout Editor D.A. Polunin

AIMS & SCOPE

Network electronic journal "Modern
Transportation Systems and Technologies"
publishes articles of a fundamental nature
and application areas, as well as review articles
pertaining to all types of transport technology

JOURNAL CONTENT SELECTION

The journal selects material based
on the double-blind peer-review conducted
by members of the editorial board
and external experts.
To be published, the manuscript
and all accompanying files should be sent
to the editorial team through a personal account
on the journal's website at: <http://transsyst.ru/>
The manuscript and additional materials should
be prepared and arranged in accordance
with the author guidelines (see in detail at:
<https://transsyst.ru/transsyst/about/submissions>)

MODERN TRANSPORTATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

Vol. 11 | Issue 3 | 2025

PEER-REVIEWED RESEARCH JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Tamila S. Titova

Dr. Sc., Professor, First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Work PGUPS,
Honored Worker of Science of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

Deputy EDITOR-IN-CHIEF

Sergey A. Smirnov

Director A.A. Zaitsev Scientific-Educational center of passenger railway
transportation innovative development PGUPS, St. Petersburg, Russia

THE SCIENTIFIC EDITOR

Viktor V. Nikitin

Dr.Sc., Professor, Professor Departments Electric Power Traction and Theoretical Bases
of Electrical Engineering PGUPS, St. Petersburg, Russia

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksandr V. Bogdanov, Dr. Physics and Mathematics, Professor, St. Petersburg State University,
St. Petersburg, Russia;

Oleg S. Valinsky, Ph.D., rector PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Vladimir D. Vereskun, Dr. Sc., Professor, Rector of Rostov State Transport University,
Rostov-on-Don, Russia;

Aleksandr A. Vorobyev, Dr. Sc., Associate professor, Head of Department Mechanical Handling and Road
Building Machines, Professor Electric Power Traction PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Natal'ya A. Zhuravleva, Dr. Economics, Professor Head of the Department of Economics of Transport,
Director of the Institute of Applied Economics and Accounting of Railway Transport PGUPS, St. Petersburg,
Russia;

Johannes O. Kluehspies, 2nd Dr.'s Degree, Full Professor at Deggendorf Institute of Technology,
Munich, Germany;

Vladimir Kolesnikov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sc., Professor, the President
Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;

Irina Kruchinina, Dr.Sc., Director of Institute of Silicate Chemistry of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia;

Weili Li, Ph.D., Professor, Beijing Jiaotong University, Beijing, China;

Guobin Lin, PhD, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center (NMTC), Director,
Professor, Tongji University, Shanghai, China ;

Aleksandr P. Ledyayev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Tunnels
and Subways, Leading Research Fellow Scientific and Analytical Group for the Development of Urban
Transport PGUPS, St. Petersburg, Russia;

Zhixun Ma, PhD, Associate Professor, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D
Center (NMTC), Tongji University, Shanghai, China;

Radik R. Mulyukov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr. Physics
and Mathematics, Director of Superplasticity Metals Institute for Metals Superplasticity Problems at RAS,
Ufa, Russia;

Fei Ni, PhD, Assistant Researcher, National Maglev Transportation Engineering Technology R&D Center,
Tongji University, Shanghai, China;

Vladimir A. Nikitenko, Dr. Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Physics
Russian University of Transport, Moscow, Russia;

Viktor A. Podgorin, Doctor of Economics Science, Professor Russian Transport University, Moscow, Russia;
Sirirangsi Poovadol, Dr.Sc., MBA, Deputy Dean Faculty of Logistics and Transportation Management
Panyapiwat Institute of Management, Pakkred, Thailand;

Vladimir N. Smirnov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department Bridges PGUPS,
St. Petersburg, Russia;

Vladimir A. Solomin, Dr. Sc., Professor, Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia;

Richard M. Stephan, Dr.Sc., Full Professor, Department of Electrical Engineering, Head of Electric Machines
Laboratory, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil;

Klara V. Talantova, Dr. Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Building Structures
Natalya Tereshina, Dr. Economics, Professor, Head of the Department of Economics and Transport
Management Russian University of Transport, Moscow, Russia;

Han Hyung-Suk, PhD, Head of the Department of Maglev and Linear Drives, Principle Researcher,
Korea Institute of Machinery & Material (KIMM), Daejeon, the Republic of Korea.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Никитин А.Б., Сакович И.Л., Долгушин С.С.

Экономическая оценка внедрения полигонных технологий управления железнодорожными перевозками 349

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Марченко М.А., Покровская О.Д.

Совершенствование технологии пропуска поездов при автоматизации диспетчерского управления 359

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Гулый И.М.

Экономические последствия внедрения цифровых экосистемных платформенных решений в рамках взаимодействия участников перевозочного процесса на базе Национальной цифровой транспортно-логистической платформы 372

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Елового Д.В.

Индикация результатов внедрения оцифрованных решений как новый подход к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта 384

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Огурцов Г.Л., Ермошин Н.А., Исмаилов, А.М.

Применение таксономического анализа при оценке стратегии эксплуатации пролетного строения 396

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехнология и электрофизика

Александров Д.А., Мартиросян И.В., Виноцкий Е.А., Осипов М.А., Покровский С.В.

Определение рабочих параметров катушек тороидального поля токамака на основе высокотемпературного сверхпроводника 409

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Козин Е.Г., Ледаев А.П., Бурин Д.Л.

Эффективные методы реновации эксплуатируемых вентиляционных стволов Петербургского метрополитена 422

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Вагин М.С., Палкина Е.С.

Матрица зрелости цифрового бережливого производства 434

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Волкова Е.М.

Оценка влияния внешних факторов на пассажирские железнодорожные перевозки 450

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Ефимова Е.Н.

Совершенствование методов формирования платы за нахождение грузовых вагонов на железнодорожных путях общего пользования 460

СОДЕРЖАНИЕ

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Журавлева Н.А., Баталова Н.В.

Алгоритм расчета прогнозного пассажиропотока инновационного железнодорожного транспорта на основе нейронной модели 474

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Крюкова Т.А.

Новый порядок расчета эксплуатационных расходов для высокоскоростных железнодорожных магистралей 486

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Леонтьев А.А., Летнев Р.А.

Методика обоснования инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути 495

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Федоров А.Е.

Цифровые технологии мониторинга и предиктивной диагностики, как инструмент управления жизненным циклом подвижного состава 509

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Чеченова Л.М., Звонарев С.С.

Сравнительная оценка стоимости международных перевозок грузов в контейнерах 522

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Шавшуков В.М., Костылев А.А.

Пороговые значения экономической безопасности инновационного развития железнодорожного транспорта 533

CONTENTS

REVIEWS

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Nikitin A.B., Sakovich I.L., Dolgushin S.S.

Economic feasibility study of field test technologies for railway transportation management 349

Section 3. TRANSPORT ECONOMIC

Marchenko M.A., Pokrovskaya O.D.

Improvement of train handling technology at dispatch control automation 359

Section 3. TRANSPORT ECONOMIC

Gulyi I.M.

Economic impact of implementation of digital ecosystem platform solutions
for communications of transportation participants based on national digital transport
and logistics platform 372

Section 3. TRANSPORT ECONOMIC

Elovego D.V.

Performance indicators of implemented digital solutions as a new quality assessment
approach to passenger transportation by urban land electric transport.....384

ORIGINAL STUDY ARTICLES

Section 1. TECHNOLOGY AND PROJECTS

Subject – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

Ogurtsov G.L., Ermoshin N.A., Ismailov A.M.

Taxonomic analysis in evaluating the superstructure operation strategy.....396

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Subject – Electrotechnology and Electrophysics

Aleksandrov D.A., Martirosian I.V., Vinitskiy E.A., Osipov M.A., Pokrovskii S.V.

Determining the operating parameters of toroidal field coils of tokamak based
on high-temperature superconductor 409

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Subject – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

Kozin E.G., Ledyaev A.P., Burin D.L.

Effective renovation methods of the ventilation shafts in the St. Petersburg metro system.....422

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Vagin M.S., Palkina E.S.

Digital lean management maturity matrix 434

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Volkova E.M.

Assessment of external impact on railway passenger transportation 450

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Efimova E.N.

Improvement of methods for determining charges for freight cars staying on public tracks 460

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Zhuravleva N.A., Batalova N.V.

Calculation algorithm of the expected passenger flow of innovative railway transport based
on a neural model 474

CONTENTS

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Kryukova T.A.

New operating cost calculation methods for high-speed railway lines.....486

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Leontiev A.A., Letnev R.A.

Substantiation of innovative railway track construction and maintenance technologies.....495

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Fedorov A.E.

Digital monitoring and predictive test technologies as a rolling stock life cycle management tool 509

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Chechenova L.M., Zvonarev S.S.

Comparative cost estimate of international containerized cargo shipping 522

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

Shavshukov V.M., Kostylev A.A.

Economic security thresholds of innovation-driven development of railway transport.....533

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689567>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© А.Б. Никитин, И.Л. Сакович, С.С. Долгушин

Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

(Санкт-Петербург, Россия)

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ПОЛИГОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

Цель. Сформулировать концептуальные направления внедрения полигонных технологий управления перевозочным процессом на сети железных дорог; систематизировать экономические эффекты, генерируемые при переходе к полигонной модели управления железнодорожными перевозками.

Методы. Анализ плановых стратегических документов по развитию железнодорожной сети, технико-экономический анализ и моделирование цепей поставок, сравнительный анализ проектов инновационных решений по развитию железнодорожных перевозок, синтез положений теории транспортных и киберфизических систем, теорий управления динамическими системами, пространственного макроэкономического планирования.

Результаты. Определены опорные направления по формированию полигонов на железнодорожной сети как отдельных организационных единиц, выделенных по принципу реализации приоритетных проектов развития магистральной железнодорожной инфраструктуры; систематизированы экономические эффекты внедрения полигонных технологий управления движением на сети железных дорог.

Заключение. Экономическая оценка внедрения полигонных технологий управления железнодорожными перевозками должна затрагивать расчет значений следующих видов эффектов: роста грузовой базы при обеспечении движения грузопотоков на большие расстояния; ускорения доставки грузов по железнодорожной сети; сокращения различий между эксплуатационными и тарифными грузооборотами; повышения качества планирования железнодорожных перевозок; сокращения времени простоев поездов на технических и промежуточных станциях; рационализации использования тяговых ресурсов в грузовом движении; минимизации штрафов и убытков перевозчика при нарушении сроков доставки грузов; макроэкономический эффект быстрого освоения большого объема грузопотоков в условиях структурных сдвигов в грузовой базе по регионам страны и кардинальных изменений географии отгрузки продукции.

Ключевые слова: железнодорожный полигон; полигонные технологии; показатели эффекта деятельности полигона железной дороги; автоматизация железнодорожных перевозок.

Как цитировать:

Никитин А.Б., Сакович И.Л., Долгушин С.С. Экономическая оценка внедрения полигонных технологий управления железнодорожными перевозками // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 349–358. doi: 10.17816/transsyst689567

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© A.B. Nikitin, I.L. Sakovich, S.S. Dolgushin

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF FIELD TEST TECHNOLOGIES FOR RAILWAY TRANSPORTATION MANAGEMENT

AIM: The work aimed to determine implementation concepts of railway transportation field test technologies and to synthesize the economic effects of the transition to a field test model of railway transportation management.

METHODS: Analysis of strategic plans for the railway network development; feasibility study and modeling of supply chains; comparative analysis of projects of innovative railway transportation development solutions; synthesis of the theory of transport and cyber-physical systems, and theories of dynamic system control and macroeconomic spatial planning.

RESULTS: The study defined the reference areas for the creation of railway field test facilities as separate organizations designated by implementing priority projects for the railway line infrastructure development and arranged the economic effects of the introduction of field test technologies for railway transportation management.

CONCLUSION: The economic feasibility study of field test technologies for railway transportation management should include the calculation of such effects as the freight base growth while ensuring the long-distance freight flows; faster railway freight delivery; reduced differences between operational turnover and freight rate/turnover index; higher railway transportation planning quality; reduced train downtime at train and intermediate stations; improved use of traction resources in freight transportation; lower fines and carrier losses in case of untimely delivery, and the macroeconomic effect of rapid development of multiple freight flows in the context of structural shifts in the regional freight base and fundamental changes in the geography of product shipment.

Keywords: railway field test facility; field test technologies; effect of railway field testing; railway transportation automation.

To cite this article:

Nikitin AB, Sakovich IL, Dolgushin SS. Economic feasibility study of field test technologies for railway transportation management. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):349–358. doi: 10.17816/transsyst689567

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость перехода от региональных принципов управления перевозками к организации и планированию движения поездов на полигонах железнодорожной сети обусловлена следующими обстоятельствами: важностью сокращения затрат на выполнение грузовых и пассажирских перевозок, постоянным наращиванием скорости движения поездов, внедрением проектов скоростного сообщения, формированием гибких схем управления железнодорожными перевозками при продвижении грузопотоков от районов погрузки к центрам перегрузки на другие виды транспорта (в том числе в морских портах и транспортно-логистических центрах), интенсивным развитием цепей перевозок грузов в транзитном и экспортно-импортном сообщении, увеличением объемов мультимодальных перевозок в межгосударственном сообщении по маршрутам международных транспортных коридоров. В условиях необходимости быстрого перестраивания макроэкономической транспортно-логистической системы ввиду санкционного давления и появления внешнеторговых барьеров на сети российских железных дорог востребованы и актуальны полигонные технологии управления перевозками. Важнейшим остается достижение обеспечения бесперебойной отгрузки товаров при переориентации поставок грузовладельцев на новые географические рынки сбыта и через альтернативные транспортные артерии.

Управление движением поездов в рамках полигонной модели концентрируется и замыкается не в рамках одной региональной системы (железной дороги), а, как правило, включает в себя несколько железных дорог, образующих отдельную организационную единицу, позволяющую выстраивать гибкие отношения железнодорожного перевозчика с клиентами, а также с другими участниками перевозок (операторами, провайдерами, компаниями других видов транспорта). Полигонные технологии важны для обеспечения равномерной и бесперебойной отгрузки продукции при формировании мультимодальных схем интеграции железнодорожного и морского видов транспорта, эффективном взаимодействии различных видов транспорта в едином информационном поле, слаженном функционировании информационных систем различных участников перевозок (железной дороги, морских портов, морских операторов, автоперевозчиков, стивидоров).

Под полигоном управления перевозочным процессом (железнодорожным полигоном) мы понимаем совокупность участков сети, имеющих единую технологию работы тягового подвижного состава, идентичную инфраструктуру, зарождение и завершение производственных циклов при обслуживании общих пассажиро- и грузопотоков с максимальным транспортно-логистическим эффектом [1].

В области использования технических устройств обеспечения безопасности движения поездов, в частности, технических средств электрической централизации и интервального регулирования, большое значение приобретают мультистанционные распределенные системы управления железнодорожной инфраструктурой на базе микропроцессорной централизации, обеспечивающие

возможность управления движением на полигоне как из поста диспетчерской централизации, так и из опорной станции – таким образом достигается децентрализация и многоцентричность процесса управления движением.

В статье предлагаются концептуальные направления оценки экономических эффектов внедрения полигонных принципов управления перевозочным процессом на железнодорожной сети, получаемых в результате перехода от регионально-замкнутых моделей управления железнодорожным движением к управлению по отдельным полигонам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой проведенного исследования выступают: теория транспортных систем; теории управления динамическими киберфизическими системами и пространственного макроэкономического планирования; теория центральных мест Кристаллера – оптимального размещения по территории населенных пунктов и коммуникаций (связей) между ними; методология моделирования цепей поставок.

Научная гипотеза исследования: при применении подхода к управлению процессами перевозок, основанном на укрупненных полигонных технологиях, генерируются существенные экономические эффекты для перевозчика и владельца железнодорожной инфраструктуры общего пользования – за счет стабилизации грузовой и поездной работы, снижения эксплуатационных расходов при уменьшении числа поездов, отставленных от движения, сокращения разрывов между эксплуатационным и тарифным расстоянием отправки грузовых вагонов, уменьшением задержек доставки грузов сверх установленных нормативных сроков. Экономический эффект от внедрения полигонных технологий при использовании мультистанционных распределенных систем управления железнодорожной инфраструктурой на базе микропроцессорной централизации генерируется за счет: сокращения расходов на содержание помещений на электрообогрев, на эксплуатацию кабельной сети для управления удаленными объектами железнодорожной автоматики и телемеханики; высвобождения производственных площадей при сокращении числа оборудования для обеспечения перевозочного процесса. Кроме того, уменьшается нагрузка на поездных диспетчеров, а управление одновременно несколькими станциями из опорной станции увеличивает загрузку ДСОП (дежурных опорных станций) до нормативных значений.

Исследование подготовлено с учетом/использованием опубликованных ранее научных работ ряда авторов. Сущность и перспективы внедрения полигонных технологий управления движением поездов с точки зрения их влияния на стабильность продвижения грузовых поездопотоков раскрыты М.И. Мехедовым [2]. Полигонные технологии управления процессами перевозок на железнодорожном транспорте как технологическая и управленческая инновация рассматриваются в работе А.Ф. Бородина, Г.Г. Горбунова, С.А. Зинченко, К.А. Капунова, Е.В. Орел, В.В. Панина, М.М. Санченко [3]. Экономическую целесообразность внедрения полигонной модели управления движением грузовых

поездов при взаимодействии железной дороги со стивидорами и морскими портами доказана В.Н. Зубковым, Е.А. Чеботаревой, И.А. Солопом, В.Н. Погореловым [4]. Методическим вопросам расчета границ полигонов управления перевозочным процессом и реализации полигонных технологий на российской железнодорожной сети посвящено исследование А.Т. Осьмина [5]. Система показателей эффективности полигонной технологии управления движением обоснована О.В. Ефимовой, Д.С. Поповым, И.Г. Матвеевой [6, 7]. Влияние полигонных принципов управления движением на сети железных дорог на рост их пропускной способности доказана В.В. Паниным [8]. Методическое обеспечение процедуры оценки эффективности организации перевозочного процесса и его дальнейшей оптимизации на основе полигонных технологий управления движением отражено в нормативных документах [9, 10].

Проведенное авторами исследование дополняет ряд ранее опубликованных работ по тематике экономической оценки внедрения полигонных технологий управления движением железнодорожных поездов, так как систематизирует ранее достигнутые результаты и уточняет экономические последствия перехода железнодорожной сети к полигонной модели управления перевозками.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определены перспективные (опорные) направления по формированию полигонов на железнодорожной сети как отдельных организационных единиц, выделенных по принципу приоритетных инвестиционных проектов развития магистральной железнодорожной инфраструктуры.

На Рис. показаны концептуальные полигоны российской железнодорожной сети, выделенные авторами по принципу реализации в последние годы приоритетных инвестиционных проектов в рамках национального Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры. На каждом из полигонов реализуются локализованные решения по формированию собственных логистических диспетчерских центров управления, работающих непосредственно с железными дорогами, участками, станциями, расположенными в границах полигонов. Впоследствии управление движением в рамках каждого полигона должно быть организовано с применением передовых цифровых технологий (обработка больших данных, цифровое моделирование, платформенные решения, интегрирующие несколько видов транспорта, ключевых участников перевозок грузов).

В перспективе полигонная сеть (перечень полигонов) будет расширяться по мере появления и актуализации перспективных транспортных проектов и необходимости решения государственных задач по развитию национальной транспортной системы (например, полигоны зарождения и погашения грузопотоков в рамках движения товаров по международным транспортным коридорам («Север-Юг», «Запад-Восток»), между крупнейшими транспортно-логистическими центрами, в направлении движения транзитных грузов через Северный морской путь, а также реализации инвестиционных проектов развития новых территорий – четырех субъектов РФ, вошедших в состав России в 2022 году.



Источник: построено авторами на основе [3]

Рис. Концептуальные полигоны российской железнодорожной сети

Fig. Conceptual field tests in the Russian railway network

Систематизированы экономические эффекты внедрения полигонных технологий управления движением на сети железных дорог.

В статье систематизированы экономические эффекты, генерируемые при переходе к полигонным технологиям управления железнодорожными перевозками. К таким эффектам относятся следующие:

1. Эффект роста грузовой базы при обеспечении движения грузопотоков на большие расстояния (ускоренные контейнерные поезда, агроэкспрессы, транзитные грузы, следующие по маршрутам международных транспортных коридоров). Достигается при гарантированном обеспечении следования грузов по железнодорожной сети за минимально возможный срок поставки, что создает условия для планомерной переориентации международных грузовых отправок с морского, автомобильного транспорта и грузовой авиации на железнодорожную сеть.

2. Эффект ускорения доставки грузов по железнодорожной сети и дальнейшего товародвижения (погрузки на другие виды транспорта, перевалки и др.), обеспечиваемый повышенной ритмичностью и равномерностью движения поездов (растет участковая скорость, сокращается число обгонов и скрещиваний поездов, устраняются сгущенные подводы поездов к границам отдельной дороги (филиала), уменьшается число задержек в приеме поездов отдельными станциями).

3. Эффект сокращения разниц между эксплуатационными и тарифными грузооборотами в условиях ограничений железнодорожной инфраструктуры

(минимизация нерациональных перевозок по удлиненным маршрутам при дефиците пропускной способности, достигаемая возможностью планирования и организации «окон» в графиках движения одновременно на нескольких дорогах, относящихся к одному железнодорожному полигону).

4. Эффект повышения качества планирования, который заключается в увеличении степени согласованности управления движением подвижного состава по инфраструктуре общего и необщего пользования. Важнейшим положительным результатом здесь отметим сокращение числа отставленных от движения поездов, следующих в адрес морских портов, которое достигается за счет технической возможности, с применением информационных технологий, ведения непрерывного мониторинга подвижного состава и предупреждения избытка поездов и вагонов, простаивающих в ожидании выгрузки при подходе к портам.

5. Эффект сокращения времени простоев поездов на технических и промежуточных станциях, обеспечиваемый: расширением границ (географии) планирования на полигоне, устранением временных лагов, обусловленных разницей в планах на различных железных дорогах (филиалах), предотвращением чрезмерного сосредоточения вагонов и поездов на отдельных участках (главным образом, на подходах к морским портам, а также на подходах к станциям, примыкающих к крупным транспортно-логистическим центрам).

6. Эффект рационализации использования тяговых ресурсов в грузовом движении, достигаемый: ростом производительности локомотивов за счет изменения удельного веса пробега вторых локомотивов в общем линейном пробеге; уменьшением непроизводительных потерь и сверхурочной работы локомотивных бригад.

7. Эффект сокращения потерь перевозчика (дополнительных расходов, штрафов, убытков), обусловленный уменьшением числа нарушений условий договоров железнодорожной перевозки в части выполнения сроков доставки грузов и обеспечения сохранности грузов.

8. Макроэкономический эффект, заключающийся в быстром освоении (в сжатые сроки) большого объема грузопотоков в условиях структурных сдвигов в грузовой базе по регионам страны и кардинальных изменений географии отгрузки продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экономическая оценка внедрения полигонных технологий управления железнодорожными перевозками должна затрагивать расчет значений следующих видов эффектов: роста грузовой базы при обеспечении движения грузопотоков на большие расстояния; ускорения доставки грузов по железнодорожной сети; сокращения различий между эксплуатационными и тарифными грузооборотами; повышения качества планирования железнодорожных перевозок; сокращения времени простоев поездов на технических и промежуточных станциях; рационализации использования тяговых ресурсов в грузовом движении; минимизации штрафов и убытков перевозчика при нарушении сроков доставки

грузов; макроэкономический эффект быстрого освоения большого объема грузопотоков в условиях структурных сдвигов в грузовой базе по регионам страны и кардинальных изменений географии отгрузки продукции.

Совершенствование информационных технологий на сети российских железных дорог, выражающееся во внедрении и использовании единой цифровой платформы управления, обеспечит возможность достижения гибкости, согласованности, слаженности, единства при выполнении перевозочного процесса; позволит минимизировать задержки при принятии решений в процессе управления движением поездов; создаст условия для эффективного сквозного управления движением в границах как одного полигона, так и нескольких полигонов. Полигонный принцип управления на сети железных дорог подразумевает, кроме того, оперативную модификацию контуров самих полигонов – по мере необходимости решения новых национальных задач развития и совершенствования отечественной транспортно-логистической отрасли.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении Глоссария железнодорожных терминов и определений (вместе с Глоссарием): распоряжение ОАО «РЖД» от 25.10.2023 № 2663/р [Internet] Дата обращения: 01.07.2025. Режим доступа: http://scbist.com/scb/uploaded/182187_1747887766.doc?ysclid=mexwd9f2sn722155121
2. Мехедов М.И. Методика оценки факторов, определяющих стабильность пропуска грузовых поездопотоков на грузонапряженных направлениях: дисс. канд. техн. наук. Москва: ВНИИЖТ, 2017. EDN: JEPFWO
3. Бородин А.Ф., Горбунов Г.Г., Зинченко С.А., Капунов К.А., Орел Е.В., Панин В.В., Санченко М.М. Комплексное развитие полигонов железнодорожной сети на основе инновационных технико-технологических решений. В кн.: Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт. Сборник материалов научно-практической конференции АО «ВНИИЖТ». Щербинка, 2021. С. 28–37. EDN: XMXKHI
4. Зубков В.Н., Чеботарева Е.А., Солоп И.А., Погорелов В.Н. Концепция формирования полигонной модели управления экспортными перевозками в адрес портов азово-черноморского бассейна в условиях роста грузопотоков // Восточно-Европейский научный журнал. 2018. № 3-1 (31). С. 71–76. EDN: XMJOKT
5. Осьминин А.Т. Научные подходы к расчету границ полигонов управления перевозочным процессом и реализации полигонных технологий // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2017. № 2. С. 42–56. EDN: ZEIGUL

6. Ефимова О.В., Попов Д.С. Система показателей эффективности полигонной технологии управления движением // Экономика железных дорог. 2018. № 3. С. 41–49. EDN: YSMALT
7. Матвеева И.Г. Экономическое обоснование программ совершенствования бизнес-процессов на железнодорожном транспорте: дисс. канд. экон. наук. Москва, 2018. EDN: VBALKY
8. Панин В.В. Комплексные меры по повышению эффективности использования инфраструктуры и росту провозной способности полигонов Российских железных дорог // Логистика и управление цепями поставок. 2023. Т. 20, № 3 (108). С. 54–63. EDN: KTHXFY
9. Методика оценки эффективности организации перевозочного процесса и его дальнейшей оптимизации на основе полигонных технологий управления локомотивами и локомотивными бригадами в условиях функционирования центров управления тяговыми ресурсами (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 01.06.2015 № 313) [Internet]. Дата обращения: 01.07.2025. Режим доступа: <https://profexpert.shop/metodika-ocenki-effektivnosti-organizacii-perevoznogo-processa-i-ego-dalneyshey-optimizacii-na-osnove-poligonnyh-tehnologiy-upravleniya-lokomotivami-i-lokomotivnymi-brigadami-v-usloviyah-funkcionirovaniya-centrov-upravleniya-tyagovymi-resursami-metodik/?ysclid=mexwqevt9d922949554>
10. Типовой технологический процесс работы полигона (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 26.12.2016 № 2700р) [Internet] Дата обращения: 01.07.2025. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456076254>

REFERENCES

1. *On approval of the Glossary of Railway Terms and Definitions (together with the Glossary)*: Russian Railways Order No. 2663/r dated 10.25.2023 [Internet]. Accessed: July 1, 2025. Available from: http://scbist.com/scb/uploaded/182187_1747887766.doc?ysclid=mexwd9f2sn722155121 (In Russ.)
2. Mekhedov MI. *Methodology for assessing the factors determining the stability of freight train traffic on cargo-stressed routes* [dissertation] Moscow; 2017. (In Russ.) EDN: JEPFWO
3. Borodin AF, Gorbunov GG, Zinchenko SA, Kapunov KA, Orel EV, Panin VV, Sanchenko MM. Integrated development of railway network polygons based on innovative technical and technological solutions. In: *Nauka 1520 VNIIZHT: Look beyond the horizon. Collection of materials of the scientific and practical conference of JSC “VNIIZHT”*. Shcherbinka; 2021:28–37. (In Russ.) EDN: XMXKHI
4. Zubkov VN, Chebotareva EA, Solop IA, Pogorelov VN. The concept of forming a landfill model for managing export shipments to the ports of the Azov-Black Sea basin in the context of increasing cargo flows. *East European Scientific Journal*. 2018;3-1:(31):71–76. (In Russ.) EDN: XMJOKT
5. Osminin AT. Scientific approaches to calculating the boundaries of landfills for managing the transportation process and implementing landfill technologies. *Bulletin of the Joint Scientific Council of Russian Railways*. 2017;2:42–56. EDN: ZEIGUL

6. Efimova OV, Popov DS. System of performance indicators of landfill traffic control technology. *Economics of Railways*. 2018;3:41–49. (In Russ.) EDN: YSMALT
7. Matveeva IG. *Economic justification of business process improvement programs in railway transport* [dissertation] Moscow; 2018. (In Russ.) EDN: VBALKY
8. Panin VV. Comprehensive measures to improve the efficiency of infrastructure use and increase the carrying capacity of landfills of Russian railways. *Logistics and supply chain management*. 2023;20:3(108):54–63. EDN: KTHXFY
9. *Methodology for assessing the effectiveness of the organization of the transportation process and its further optimization based on landfill technologies for managing locomotives and locomotive crews in the context of the operation of traction resource management centers* (approved by the Order of JSC Russian Railways dated 06.01.2015 No. 313) [Internet]. Accessed: July 1, 2025. Available from: <https://profexpert.shop/metodika-ocenki-effektivnosti-organizacii-perevozhnogo-processa-i-ego-dalneyshey-optimizacii-na-osnove-poligonnyh-tehnologiy-upravleniya-lokomotivami-i-lokomotivnymi-brigadami-v-usloviyah-funkcionirovaniya-centrov-upravleniya-tyagovymi-resursami-metodik/?ysclid=mexwqevt9d922949554> (In Russ).
10. *Standard technological process of the landfill* (approved by the order of JSC “Russian Railways” dated December 26, 2016 No. 2700r) [Internet] Accessed: July 1, 2025. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/456076254> (In Russ.)

Сведения об авторах:

Никитин Александр Борисович, д-р техн. наук;
eLibrary SPIN: 5800-2656, ORCID: 0000-0002-9948-9867;
E-mail: nikitin@crtc.spb.ru

Сакович Игорь Леонтьевич, канд. экон. наук;
E-mail: sakovichil@yandex.ru

Долгушин Семен Сергеевич, аспирант;
ORCID: 0009-0005-1354-4044;
E-mail: syomasergeevich@yandex.ru

Information about authors:

Alexander B. Nikitin, Dr. Sci. (Engineering);
eLibrary SPIN: 5800-2656, ORCID: 0000-0002-9948-9867;
E-mail: nikitin@crtc.spb.ru

Igor L. Sakovich, Cand. Sci. (Economics);
E-mail: sakovichil@yandex.ru

Semen S. Dolgushin, graduate student;
ORCID: 0009-0005-1354-4044;
E-mail: syomasergeevich@yandex.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689788>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© М.А. Марченко, О.Д. Покровская

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОПУСКА ПОЕЗДОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цель. Разработка метода автоматизации диспетчерского регулирования, позволяющего усовершенствовать технологию пропуска поездов на грузонапряженных участках.

Материалы и методы. Статистический анализ данных, математическое и имитационное моделирование на железнодорожном транспорте, теории автоматического управления как инструментария для реализации предложенного метода и его внедрения результатов исследования на сети ОАО «РЖД».

Результаты. Рассмотрены ключевые проблемы и факторы, препятствующие проведению мероприятий по повышению провозной и пропускной способностей железнодорожных участков; проведены эксперименты, по результатам которых предложен метод диспетчерского регулирования поездов при интенсивном грузовом движении. На основе результатов имитационного моделирования продемонстрированы результаты применения предложенного метода и сделаны выводы о целесообразности его внедрения на сети ОАО «РЖД».

Заключение. Предложенное решение позволит повысить эффективность использования пропускной способности путем обеспечения пропуска поездов с увеличенной скоростью, тем самым способствуя развитию железнодорожной и транспортно-логистической инфраструктуры Российской Федерации.

Ключевые слова: провозная способность; железнодорожный участок; диспетчерское управление; увеличенный интервал; техническая скорость; пропускная способность.

Как цитировать:

Марченко М.А., Покровская О.Д. Совершенствование технологии пропуска поездов при автоматизации диспетчерского управления // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 359–371. doi: 10.17816/transsyst689788

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© M.A. Marchenko, O.D. Pokrovskaya

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**IMPROVEMENT OF TRAIN HANDLING TECHNOLOGY
AT DISPATCH CONTROL AUTOMATION**

AIM: The work aimed to develop a dispatch control automation method allowing to improve the train handling on high-density traffic lines.

METHODS: Statistical data analysis; mathematical and simulation railway transport modeling, and automatic control theory as a tool for implementing the proposed method and its implementation in the railway network of Russian Railways JSC.

RESULTS: The study analyses key issues and factors preventing the increase of the carrying and train-handling capacity of railway lines and involves the experiments used to develop a train dispatching method during high-density traffic periods. Simulation modeling allows to demonstrate the use of the proposed method and conclude on the feasibility of its implementation in the railway network of Russian Railways JSC.

CONCLUSION: The proposed solution will improve the efficiency of capacity utilization by ensuring the higher train handling rate, facilitating the development of the railway, transport, and logistics infrastructure of the Russian Federation.

Keywords: carrying capacity; railway line; dispatch control; increased interval; operating speed; train-handling capacity.

To cite this article:

Marchenko MA, Pokrovskaya OD. Improvement of train handling technology at dispatch control automation. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):359–371. doi: 10.17816/transsyst689788

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время роль железнодорожного транспорта в обеспечении экономического суверенитета и устойчивого развития Российской Федерации неуклонно возрастает [1]. В связи с западными санкциями с начала 2022 г. началась глобальная перестройка логистических цепочек и маршрутов в связи с изменениями рынков поставок и сбыта. Поскольку главенствующая роль в обеспечении транспортной связи центральных регионов и удаленных от центра страны (например, дальневосточных регионов) принадлежит железнодорожному транспорту, подобная перестройка логистики затронула и железнодорожную отрасль. В частности, в связи с установившимся политическим и экономическим сотрудничеством Российской Федерации со странами Персидского залива и Азиатско-тихоокеанского региона возникла потребность в усилении

пропускной способности железнодорожной инфраструктуры, во-первых, в составе транспортного коридора «Север–Юг» (обеспечивающего транспортную связь центральных и южных регионов России), во-вторых, Восточного полигона (перевозки между Центральной Россией и портами Дальнего Востока). В связи с прекращением экономического сотрудничества со странами Европейского союза и появлением новых рынков для российских производителей и перевозчиков неотъемлемым фактором стал повышенный уровень качества транспортного обслуживания, так как транспортный рынок по своей структуре является олигополией, и для успешной конкуренции с устоявшимися на рынках игроками для российских перевозчиков важно предоставлять высокий уровень сервиса [2–7].

В ключе необходимости предоставления высокого качества оказания транспортной услуги при перемещении продукции между морскими портами Дальнего Востока и регионами центральной России важная роль отводится повышению ритмичности пропуска поездов по Транссибирской и Байкало-Амурской магистралям. С 2023 г. реализуется проект, направленный на увеличение провозной способности Восточного полигона, который уже принес определенные результаты. К примеру, в 2024 г. по Восточному полигону было перевезено 180 млн т груза, в то время как потребная провозная способность составляет более 255 млн т (на 42%). В соответствии с указанным проектом увеличения провозной способности, на такие показатели предполагалось выйти к только 2032 г. В рамках данного проекта реализуются преимущественно технические мероприятия, такие как: техническая реконструкция железнодорожных участков в целях повышения максимально допустимого веса поездов, постройка второго главного пути на Байкало-Амурской магистрали, внедрение «виртуальной сцепки». Несмотря на эффективность реализуемых мер по усилению провозной способности, необходима реализация и организационных мер, направленная на рационализацию составления графика движения поездов на Восточном полигоне для повышения ритмичности его работы [8].

Подробнее рассматривая реализацию текущих мероприятий в рамках действующего проекта увеличения провозной способности Восточного полигона, следует подробнее рассмотреть технологию «виртуальной сцепки». Она позволяет с обеспечением безопасности движения поездов осуществлять их пропуск с интервалом всего в 5 минут. Практика эксплуатации данной технологии на Восточном полигоне, однако, выявила ряд недостатков. Несмотря на оптимально подобранную частоту радиоканала в 160 МГц для увязки локомотивов, следующих в сцепке, остается нерешенным вопрос помехозащищенности канала от экранирования радиосигнала вагонами переднего поезда и складками местности. Кроме того, требует проработки остающийся актуальным в наше время вопрос нарушения ритмичности движения поездов вследствие возникающих отклонений от нормативного графика движения поездов. Данная проблема проявила себя в 1970-е гг. при росте грузового движения в пределах железнодорожных полигонов Советского Союза. Предложением по ее решению было добавление дополнительного блок-участка к минимально

допустимому расстоянию, в соответствии с которым определялся межпоездной интервал. Однако в современных условиях зачастую уже недостаточно одного дополнительного блок-участка. Схема движения поездов, разграниченных тремя блок-участками, приведена на Рис. 1.



Рис. 1. Схема движения поездов, разграниченных тремя блок-участками

Fig. 1. Railway traffic diagram with trains delimited by three blocks

Таким образом, на сегодняшний день наблюдается проблема нехватки третьего блок-участка для погашения неравномерности движения поездов вследствие роста объема грузовых перевозок. В исследовании предлагается ее решение путем увеличения интервала отправления поездов в оперативном порядке в том случае, если на участке наблюдается сгущение поездопотока, обнаружение которого предполагается методом линейной регрессии. При выявлении сгущения поездопотока поездной диспетчер получает рекомендацию об изменении продолжительности интервала отправления поездов в информационной системе в виде всплывающего окна. Данный метод позволит снизить густоту поездопотока и улучшить показатели выполнения графика и работы участка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Причина снижения ритмичности движения поездов и их технической скорости была выявлена в середине прошлого века. В ходе экспериментов было выяснено, что при движении поездов фактическое время их движения отклоняется от нормативного согласно нормальному закону. Результаты данных экспериментов дают теоретическое объяснение причин снижения технической скорости поездов при их сгущенном движении по участку, однако для разработки методов организации движения поездов, позволяющих повысить ритмичность их пропуска, были необходимы более детальные эксперименты с учетом веса поездов, а также плана и профиля перегонов [9].

В исследовании были применены методы статистического анализа для выявления закона распределения отклонения величины времени хода поезда от графика, математического и имитационного моделирования для проверки функционирования предлагаемого метода автоматизации диспетчерского управления на основе материалов [10–12].

В рамках настоящего исследования данные эксперименты были проведены на основе статистического анализа значений времени проследования поездом каждого блок-участка на перегоне железнодорожного участка, предоставленного к рассмотрению Октябрьской дирекцией управления движением ОАО «РЖД».

Релевантность экспериментов основана на технической документации [13, 14], согласно которой расстановка проходных светофоров на перегоне происходит согласно кривой времени хода. График распределения величины отклонения представлен на Рис. 2.

График свидетельствует о наибольшем отклонении от нормативного времени хода у грузовых поездов большего веса, в данном случае это поезда весом 7 100 т. Наблюдается закономерность: чем меньше вес поезда, тем меньшие отклонения от нормативного времени возникают в процессе движения поездов. При этом в среднем отклонение времени хода у поездов весом 7 100 т и 6 300 т, а также у поездов весом 6 300 т и 4 500 т составляет 10,3%, что позволяет говорить о корреляции средней величины отклонения поезда от графика и его весовой категорией. При этом отличие времени хода у отдельно взятой категории поезда по разным перегонам участка составляет менее 7%, что обуславливается требованиями [8] и свидетельствует об отсутствии корреляции между величиной отклонений и значениями уклонов профиля пути.

В ходе исследования было подтверждено подчинение распределения значений времени, за которое каждый поезд проследовал каждый блок-участок перегона закону нормального распределения методом критерия Пирсона. С этой целью была произведена корреляция эмпирических значений с теоретическими, соответствующими закону нормального распределения. Выявленное расхождение в 6% позволяет утверждать, что величина отклонения времени хода поездов подчинена закону нормального распределения для грузовых поездов с различными весовыми нормами.

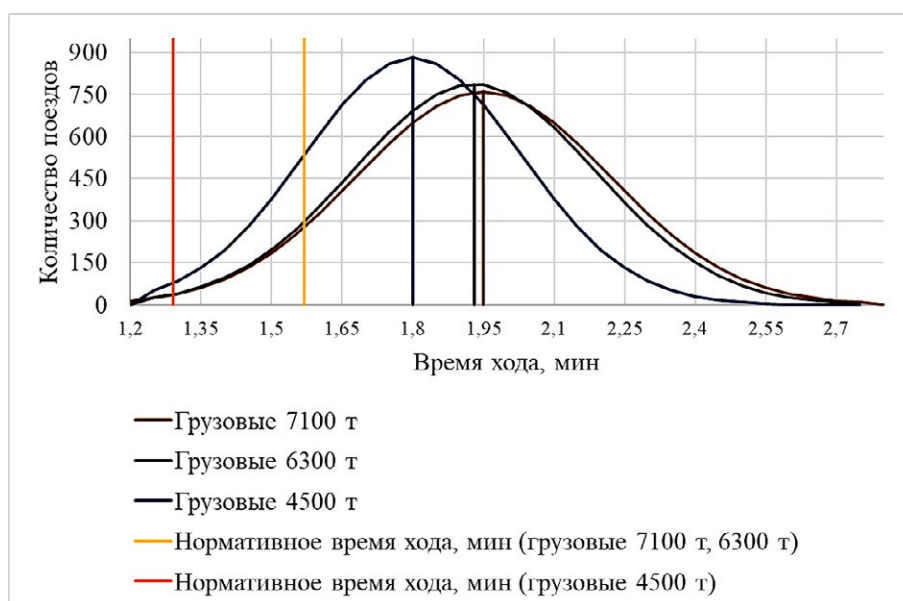


Рис. 2. Результаты эксперимента исследования зависимостей отклонений от веса поезда

Fig. 2. Experiment investigating the relationship between the deviations and train weight

Методика эксперимента состоит в сборе статистических данных о времени, за которое каждый поезд проследовал каждый блок-участок перегона. Рассчитывается значение среднеквадратического отклонения, которое сопоставляется с временными границами, за пределы которых не должно выходить данное значение. Тенденция на увеличение величины отклонений с превышениями верхней границы означает, что на участке наблюдается сгущение поездопотока, и следует увеличить интервалы отправления поездов. Тенденция на уменьшение величины отклонений свидетельствует о разреженном движении и возможности сокращения интервалов с учетом технических возможностей систем сигнализации, централизации и блокировки.

Таким образом, экспериментально было подтверждено подчинение величины отклонения времени хода поездов от нормативных значений нормальному закону распределения методом критерия Пирсона.

На основе проведенных экспериментов была предложена концепция решения, заключающееся в изменении величины межпоездного интервала диспетчерским приказом в зависимости от оперативной обстановки. Данное решение позволяет предотвратить вероятность снижения технической скорости поезда на перегоне вследствие его следования на желтый или красный сигнал проходного светофора. В случае сгущения поездопотока межпоездной интервал увеличивается при отправлении поездов со станции [15]. Концепция предлагаемого решения приведена на Рис. 3.

Согласно данной концепции, предлагается установление верхней и нижней границ допустимого отклонения, за пределы которых не должно выходить фактическое время хода поездов. В ходе исследования предложено при разработке графика движения поездов осуществлять прокладку ниток грузовых поездов пакетами: четыре нитки через межпоездной интервал, а после четвертого поезда делать увеличенный интервал на 30% при трехзначной автоблокировке.

В исследовании была предложена математическая модель, позволяющая отражать движение поездов с учетом изменения ритмичности их следования при сгущении поездопотока. Модель представлена на Рис. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты имитационного моделирования движения поездов при увеличенном интервале демонстрируют рост технической скорости. График зависимости приведен на Рис. 5.

График демонстрирует, что при увеличении интервала наблюдается рост технической скорости на участке. При этом увеличивается число пропущенных поездов по участку. Демонстрирующая это увеличение зависимость приведена на Рис. 6.

График демонстрирует рост пропускной способности участка при уменьшении интервала, однако при величине интервала, превышающей 20% от минимального, наблюдается снижение пропускной способности участка. На Рис. 7 и 8 приведены диаграммы, демонстрирующие изменение технической скорости и пропускной способности.

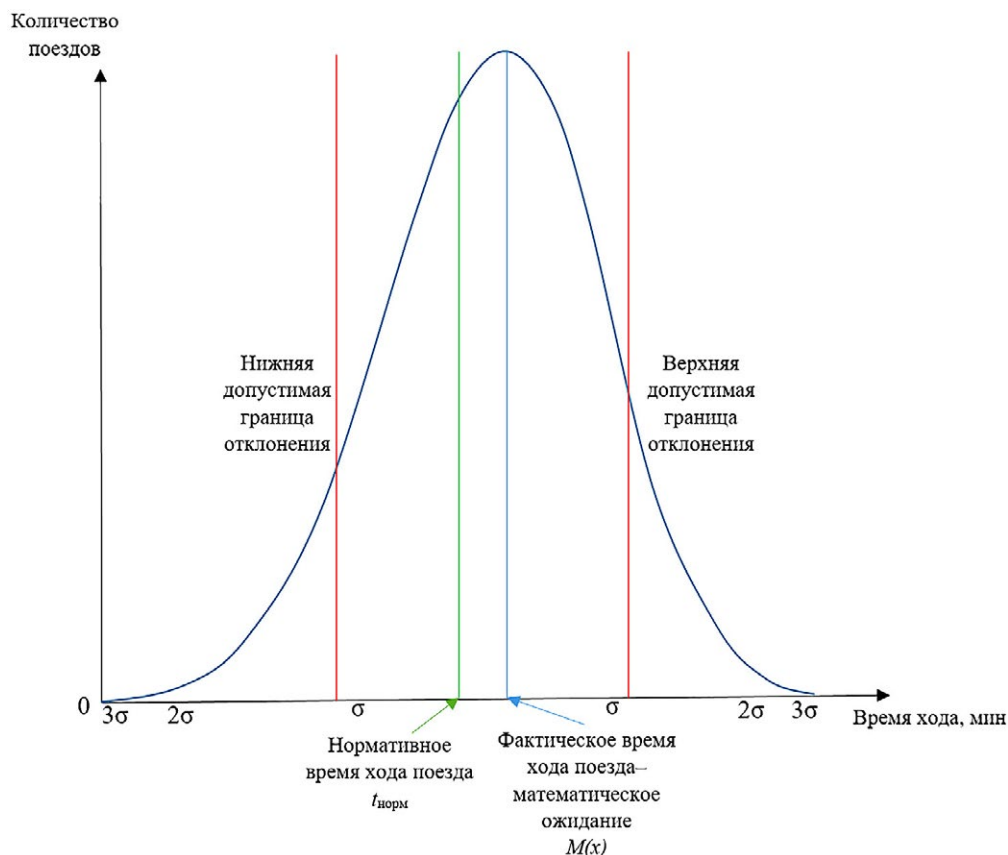


Рис. 3. Концепция предлагаемого метода

Fig. 3. Concept of the proposed method

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования прошли апробацию на грузонапряжённом участке полигона Октябрьской железной дороги. По итогам проведенной апробации было подтверждено увеличение технической скорости поездов при увеличении межпоездного интервала диспетчерским приказом при увеличении плотности поездопотока. Предложенный метод получил положительные отзывы работников диспетчерского центра управления перевозками Октябрьской железной дороги. Также результаты исследования, составляющие основное содержание диссертационной работы, докладывались, обсуждались и получили одобрение научных экспертов на многочисленных научных конференциях и расширенных заседаниях кафедр «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВО ПГУПС (г. Санкт-Петербург) и ФГБОУ ВО ПривГУПС (г. Самара).

Предложенный в ходе исследования метод целесообразнее всего применять на линиях с интенсивным движением, как грузовым, так и пассажирским. Его применение возможно только на линиях, оборудованных автоблокировкой. Однако данный метод возможно применять в совокупности с технологическим комплексом «Виртуальная сцепка».

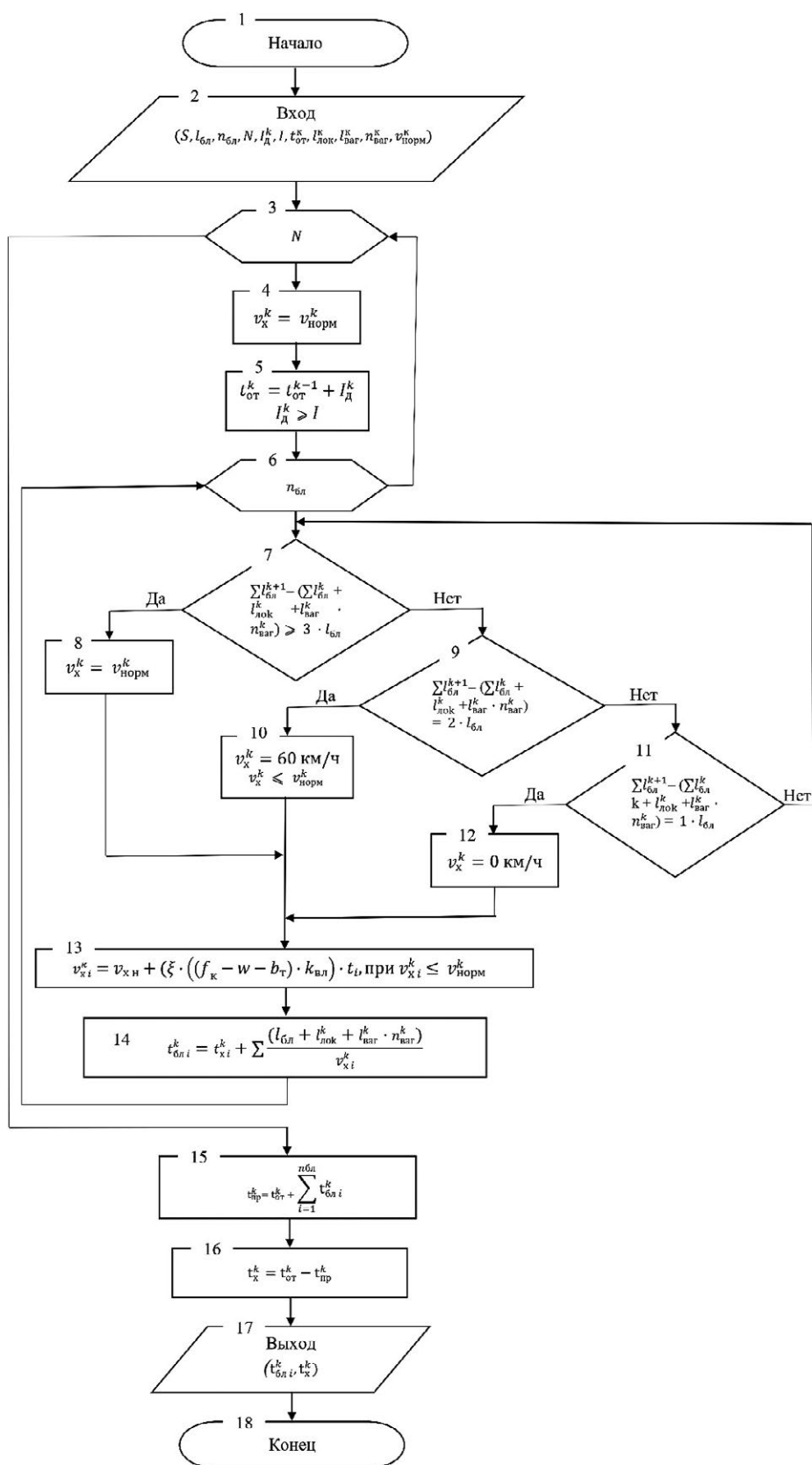


Рис. 4. Предложенная автором математическая модель

Fig. 4. Mathematical model proposed by the author

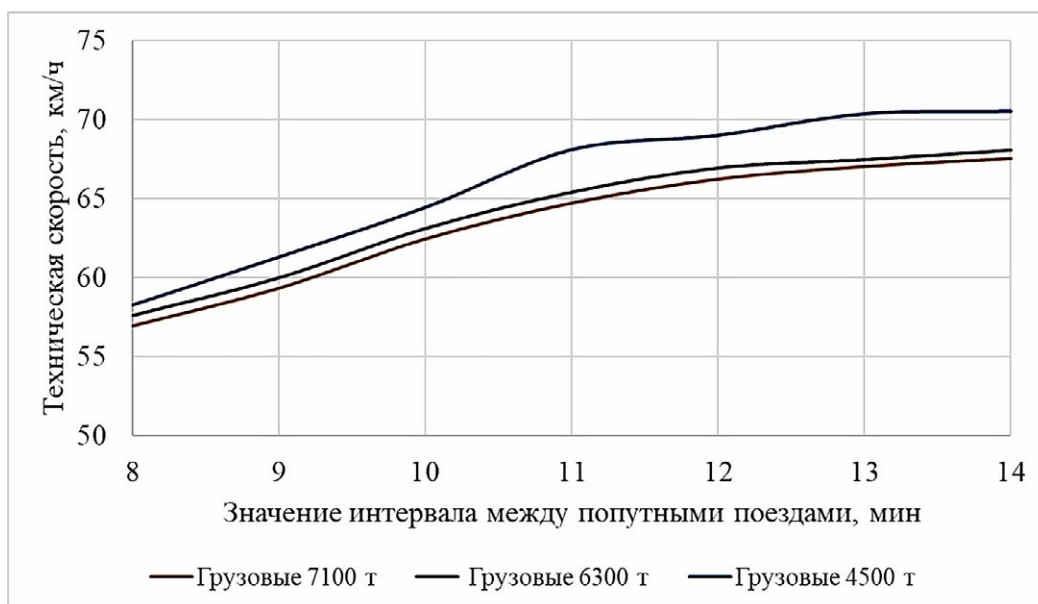


Рис. 5. Зависимость скорости поездов от изменения интервала

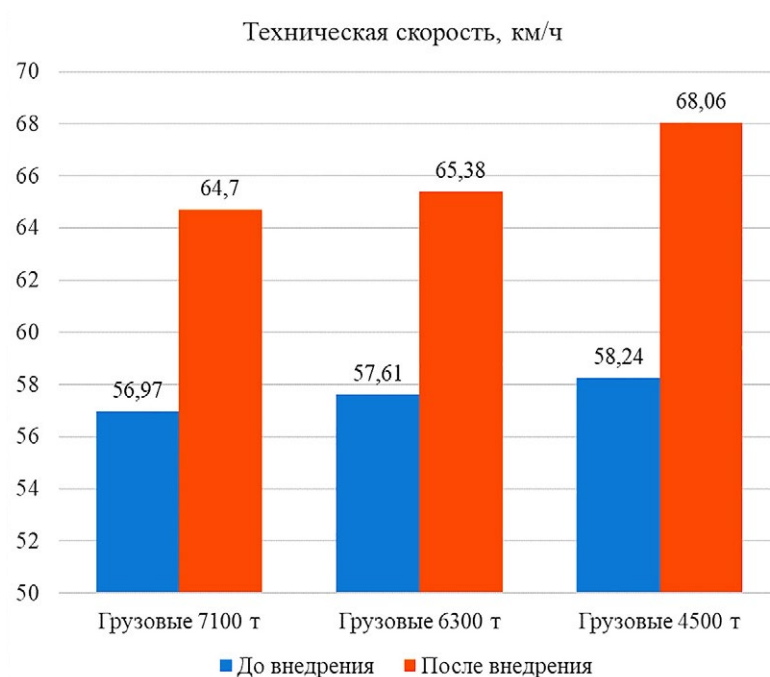
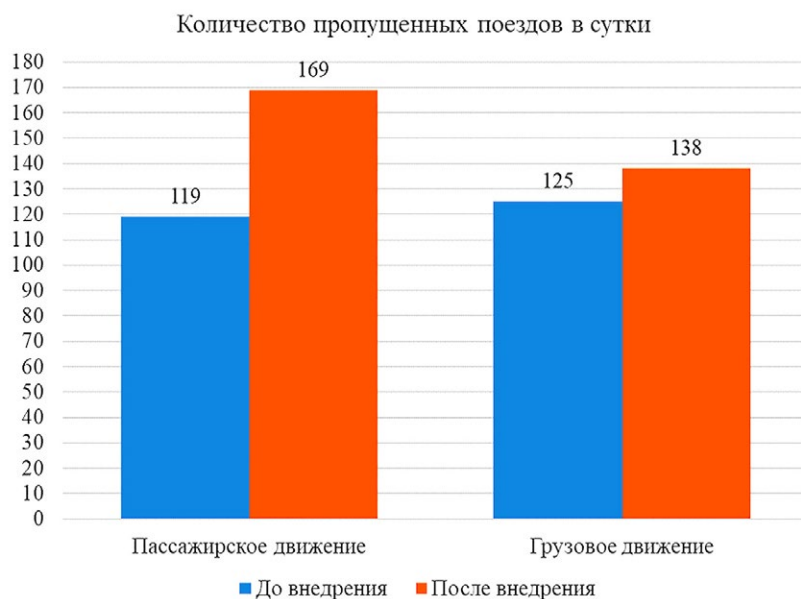
Fig. 5. Relationship between the train speed and interval changes



Рис. 6. Зависимость пропускной способности от изменения интервала

Fig. 6. Relationship between the train-handling capacity and interval changes

В перспективе предполагается интегрирование предложенного метода в виде цифрового ассистента, помимо ГИД «Урал-ВНИИЖТ» в программные комплексы АПК «Эльбрус», ИСУЖТ, предназначенные для построения вариантных энергоэффективных графиков; системы автоведения поездов и в технологический комплекс «Виртуальная сцепка».

**Рис. 7.** Изменение технической скорости**Fig. 7.** Operational speed changes**Рис. 8.** Изменение пропускной способности**Fig. 8.** Train-handling capacity changes

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные и описанные в работе эксперименты подтвердили подчинение величины отклонения времени хода поезда от нормативного нормальному закону распределения в современных

условиях. На основе полученных результатов предложен метод, позволяющий снизить последствия сгущения поездопотока на грузонапряженных участках без необходимости их технической реконструкции. Результаты исследования, прошедшие апробацию в реальных условиях, свидетельствуют о повышении технической скорости на 13%, а пропускной способности – на 10%. Наиболее актуальным полигоном на сети ОАО «РЖД» для внедрения предлагаемого метода является Транссибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали, входящие в состав Восточного полигона, поскольку его включение в действующую технологию пропуска поездов требуют меньше капитальных вложений по сравнению с технической реконструкцией. При этом достигаемый эффект позволяет ускорить выход величины провозной способности Восточного полигона на требуемое значение, тем самым обеспечив экономическую независимость и устойчивое развитие Российской Федерации.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. М.: Правительство Российской Федерации, 2021. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOOpQhLLl0nUT91RjCbeR.pdf>
2. Куренков П.В., Волов В.Т., Герасимова Е.А., и др. Российская логистика под санкциями и антисанкционная логистика // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2023. № 3. С. 117–120. doi: 10.36718/2500-1825-2023-3-117-126 EDN: PNEHJW
3. Куренков П.В., Герасимова Е.А., Мизиев М.М., Черкасова Д.О. Вопросы организации мультимодальных перевозок грузов. В кн.: Прогрессивные технологии в эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов и логистических транспортных систем. Сборник трудов международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 110-летию со дня рождения профессора Каракулева А.В. Казань, 2024. С. 211–217.
4. Покровская О.Д. Развитие логистической транспортной системы России в условиях санкций // Бюллетень результатов научных исследований. 2023. № 3. С. 58–72. doi: 10.20295/2223-9987-2023-3-58-72 EDN: QTHKZC
5. Покровская О.Д., Шугаев О.В. Логистика и эффективность тяжеловесного движения // International Journal of Advanced Studies. 2024. Т. 14, № 3. С. 174–187. doi: 10.12731/2227-930X-2024-14-3-320 EDN: URXJJC

6. Никифорова Г.И. Анализ логистического маршрута доставки груза в современных условиях. В кн.: IV Бетанкуровский международный инженерный форум: электронный сборник трудов, Санкт-Петербург, 30 ноября–02 декабря 2022 года. СПб: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2022. EDN: CJFZHU
7. Никифорова Г.И., Подвербных А.А., Федорова Н.Б. Развитие контейнерных перевозок на железнодорожном транспорте в современных условиях // *Техник транспорта: образование и практика*. 2022. Т. 3, № 4. С. 405–409. EDN: MKMHDA doi: 10.46684/2687-1033.2022.4.405-409
8. Паспорт федерального проекта «Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона железных дорог». Министерство транспорта Российской Федерации, 2023. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/12716?ysclid=md2qno00w735625392>
9. Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД». Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 04.03.2022 г. № 128. М.: ОАО «РЖД», 2022. 364 с. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/vedomost_forma/0/instruktsiya_po_raschetu_propusknoy_i_provozhnoy_sposobnostey.html?ysclid=md2qs81mfc665201854
10. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высш. шк., 1999.
11. Гарбарук В.В., Пупышева Ю.Ю. Математическая статистика. СПб: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2012.
12. Звонарев С.В. Основы математического моделирования. Екб: Урал. ун-т, 2019.
- Чернюгов А.Д. Организация безостановочных обгонов на двухпутных линиях // *Вестник ВНИИЖТ*. № 6. С. 58–62.
13. Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2011 N 2864р. Режим доступа: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/1/instruktsiya_po_opredeleniyu_stantsionnykh_i_mezhpoezdnykh.html?ysclid=md2rio6b7q836958944
14. Левин Д.Ю. Оптимизация потоков поездов. М.: Транспорт, 1988.

REFERENCES

1. Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035. Approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 3363-r dated November 27, 2021. Accessed: 05.06.2025. Available from: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (In Russ.)
2. Kurenkov PV, Volov VT, Gerasimova EA, et al. Russian Logistics under Sanctions and Anti-Sanctions Logistics. *Social, Economic, and Humanitarian Journal*. 2023;3:117–120. (In Russ.) doi: 10.36718/2500-1825-2023-3-117-126
3. Kurenkov PV, Gerasimova E.A, Mizeev M.M, Cherkasova DO. Issues in the Organization of Multimodal Cargo Transportation. In: *Advanced Technologies in the Operation of Ground Transport and Logistics Systems. Collection of papers from the International Scientific and Technical Conference of Students, Master's Students, Postgraduate Students, and Young Scientists dedicated to the 110th anniversary of Professor Karakulev's birth*. Kazan. 2024;211–217. (In Russ.)
4. Pokrovskaya OD. Development of Russia's logistics transport system under sanctions. *Bulletin of Scientific research Results*. 2023;3:58–72. (In Russ.)

5. Pokrovskaya OD., Shugaev OV. Logistics and efficiency of heavy traffic. *International Journal of Advanced Studies*. 2024;14(3):174–187. (In Russ.)
6. Nikiforova GI. *Analysis of the logistics route of cargo delivery in modern conditions. IV Betancourt International Engineering Forum*. St. Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University. 2022. (In Russ.)
7. Nikiforova GI, Podverbnykh NB, Fedorova NB. Development of container transportation by rail in modern conditions. *Transport Engineering: Education and Practice*. 2022;3(4):405–409. (In Russ.)
8. Passport of the federal project “Development of the railway infrastructure of the Eastern polygon of railways”. Ministry of Transport of the Russian Federation, 2023. Accessed: 05.06.2025. Available from: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/12716?ysclid=md2qno00w735625392> (In Russ.)
9. Instructions for calculating the capacity and carrying capacity of the Russian Railways railways. Approved by Order No. 128 of the Russian Railways dated March 4, 2022. Moscow: Russian Railways, 2022. Accessed: 05.06.2025. Available from: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/vedomost_forma/0/instruktsiya_po_raschetu_propusknoy_i_provoznoy_sposobnostey.html?ysclid=md2qs81mfc665201854 (In Russ.)
10. Ventzel ES. *Theory of Probability*. Moscow: Vysshaya Shkola; 1999. (In Russ.)
11. Garbaruk VV, Pupysheva YuYu. *Mathematical Statistics*. Saint Petersburg: Petersburg State University of Railway Engineering; 2012. (In Russ.)
12. Zvonarev SV. *Fundamentals of Mathematical Modeling*. Yekaterinburg: Ural University; 2019. (In Russ.)
13. Chernyugov AD. Organization of non-stop overtaking on double-track lines. *Bulletin of VNIIZHT*. 1964;6:58–62. (In Russ.)
14. Instructions for determining station and inter-train intervals» – approved by the order of JSC Russian Railways dated 12/30/2011 N 2864p. Accessed: 05.06.2025. Available from: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/instrukciya/1/instruktsiya_po_opredeleniyu_stantsionnykh_i_mezhpoezdnykh.html?ysclid=md2rio6b7q836958944 (In Russ.)
15. Levin DY. *Optimization of train flows*. Moscow: Transport; 1988. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Марченко Максим Александрович, аспирант;

eLibrary SPIN: 1531-5337; ORCID: 0000-0003-3191-3665;

E-mail: maks.marchenko1998@mail.ru

Покровская Оксана Дмитриевна, д-р техн. наук, доцент;

eLibrary SPIN: 8252-2587; ORCID: 0000-0001-9793-0666;

E-mail: insight1986@inbox.ru

Information about the authors:

Maksim A. Marchenko, Postgraduate Student;

eLibrary SPIN: 1531-5337; ORCID: 0000-0003-3191-3665;

E-mail: maks.marchenko1998@mail.ru

Oksana D. Pokrovskaya, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor;

eLibrary SPIN: 8252-2587; ORCID: 0000-0001-9793-0666;

E-mail: insight1986@inbox.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst690064>Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© И.М. Гулый

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВНЕДРЕНИЯ
ЦИФРОВЫХ ЭКОСИСТЕМНЫХ ПЛАТФОРМЕННЫХ
РЕШЕНИЙ В РАМКАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ
ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА БАЗЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ
ЦИФРОВОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ**

Цель. Раскрыть сущность и результаты процессов внедрения цифровых экосистемных платформенных решений в рамках взаимодействия участников перевозочного процесса на проектируемой в настоящее время электронной площадке – Национальной цифровой транспортно-логистической платформы.

Методы. Анализ количественных и качественных показателей результативности и эффективности построения цепей поставок, систематизация плановых и отчетных данных нормативно-правовых документов в сфере транспорта, синтез теоретико-методологический положений, раскрывающих основы платформенной экономики, экономики данных, отраслевых экосистемных решений для повышения экономической эффективности.

Результаты. Сформулированы проблемы и вызовы современного этапа развития транспортной отрасли; систематизированы этапы и основные эффекты от внедрения единой национальной цифровой транспортно-логистической платформы; сформирована концептуальная схема, отражающая результаты аккумулирования, верификации и использования данных о перевозках на площадке единой национальной платформы; раскрыты особенности предоставления на площадке национальной цифровой транспортно-логистической платформы цифровых сервисов, предлагаемых рынку крупнейшим национальным перевозчиком грузов и владельцем железнодорожной инфраструктуры общего пользования ОАО «Российские железные дороги» (далее – ОАО «РЖД»).

Заключение. Исследование показало, что в результате внедрения в России Национальной цифровой транспортно-логистической платформы к 2030 году произойдет выполнение государственных задач по переводу к электронному формату взаимодействия всех участников грузовых перевозок, оформлению и передаче электронных перевозочных документов в единой информационной системе, что обеспечит рост пропускной способности транспортной инфраструктуры страны (по всем видам транспорта) к 2030 году в сравнении с 2024 годом на 15%, повышение средней скорости доставки груза по всем видам транспорта на 17%, достижение экономического эффекта за счет сокращения простоев и транзакционных издержек в объеме 168 млрд. рублей в год, а также позволит исключить из цепей поставок недобросовестных контрагентов.

Ключевые слова: грузовая логистика; электронные перевозочные документы; национальная цифровая транспортно-логистическая платформа; электронный документооборот на транспорте.

Как цитировать:

Гулый И.М. Экономические последствия внедрения цифровых экосистемных платформенных решений в рамках взаимодействия участников перевозочного процесса на базе Национальной цифровой транспортно-логистической платформы // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 10. № 3. С. 372–383. doi: 10.17816/transsyst690064

Rubric 3. TRANSPORT ECONOMICS

© I.M. Gulyi

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**ECONOMIC IMPACT OF IMPLEMENTATION
OF DIGITAL ECOSYSTEM PLATFORM SOLUTIONS
FOR COMMUNICATIONS OF TRANSPORTATION
PARTICIPANTS BASED ON NATIONAL DIGITAL TRANSPORT
AND LOGISTICS PLATFORM**

AIM: The work aimed to describe the nature and results of the implementation of digital ecosystem platform solutions for communications of transportation participants on the developed digital platform, the National Digital Transport and Logistics Platform (NDTLP GosLog).

METHODS: Quantitative and qualitative analysis of the effectiveness and performance of building supply chains; arrangement of regulatory transport plans and reports, and synthesis of theoretical and methodological background of the platform economy, data economy, and industry ecosystem solutions to improve economic efficiency.

RESULTS: The study describes the issues and challenges of the current development of the transport industry; the stages and main effects of the implementation of the single NDTLP GosLog platform; a framework based on the results of accumulation, verification, and use of transportation data on the single national platform, and characterizes the provision of digital services on the NDTLP offered by the major national freight carrier and owner of the public railway infrastructure, Russian Railways JSC.

CONCLUSION: The study showed that the implementation of the National Digital Transport and Logistics Platform in Russia by 2030 will allow to implement the state tasks of digital transformation of communications of all freight transportation participant; registration, and transfer of digital shipping documents in a single information system. This will increase the capacity of the national transport infrastructure by 15% by 2030 compared to 2024 and the average delivery rate by 17% for all modes of transport; achieve an economic effect by reducing the downtime and annual transaction costs by 168 billion RUB, and remove unscrupulous contractors from supply chains.

Keywords: freight logistics; digital shipping documents; national digital transport and logistics platform; electronic document management in transport.

To cite this article:

Gulyi IM. Economic impact of implementation of digital ecosystem platform solutions for communications of transportation participants based on national digital transport and logistics platform. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;10(3):372–383. doi: 10.17816/transsyst690064

ВВЕДЕНИЕ

Основная управленческая задача, стоящая в ближайшей среднесрочной перспективе перед транспортной отраслью России, заключается в переходе системы от локальной организации отдельных перевозок грузов, как правило, не интегрированных и информационно не связанных друг с другом, к единой оцифрованной мультимодальной транспортно-логистической системе. Это позволит обеспечить бесшовное перемещение товаров как внутри территории страны, так и за ее пределами. Ключевым инструментом для достижения этой цели выступит цифровизация, которая обеспечит не только бесшовность грузовой транспортной логистики, но и прозрачность, законность, безопасность перевозочных процессов. В цифровых цепях перевозок контрагенты получают возможность отслеживать движение товаров, работу перевозчиков, их маршруты, что сделает движение товаров, весь процесс поставок грузов более контролируемым, прогнозируемым, безопасным.

Внедрение в России Национальной цифровой транспортно-логистической платформы (далее – НЦТЛП – ГосЛог), ввод в эксплуатацию которой, согласно постановлению Правительства РФ [7], планируется с 2027 г., а переход к полноценному всеобщему использованию участниками перевозок – с 2030 г., даст возможность реализовывать электронные сервисы, предоставляемые различными контрагентами – как перевозчиками, так и ИТ-компаниями, а также государственными органами. Появление цифровых сервисов обеспечит рост эффективности грузовой логистики внутри страны, а также внешнеэкономических поставок, повысит привлекательность экспортно-импортных и транзитных маршрутов через российскую территорию.

В целом НЦТЛП станет прогрессивным инструментом управления грузовой логистикой в масштабе всей страны, поскольку каждый грузовой поток будет отражен в системе путем электронной цифровой копии, связанной с комплектом соответствующих грузосопроводительных транспортных документов.

Важнейшим составным элементом НЦТЛП является Государственная информационная система электронных перевозочных документов (ГИС ЭПД). Внедрение ГИС ЭПД позволит унифицировать все перевозочные документы, обеспечит всем участникам перевозок грузов комплексно, в режиме реального времени возможность получать информацию о географии перемещения грузов по территории страны. Это будет способствовать более точному и предсказуемому транспортному планированию, развитию схем грузовых мультимодальных перевозок. ГИС ЭПД позволит быстро, непрерывно, прозрачно выявлять «узкие» места в загрузке транспортной инфраструктуры, выявлять приоритеты для планирования инвестиций в ее развитие. Для транспортных организаций, грузовладельцев и органов региональной власти наличие информационной системы цифровой платформы позволит своевременно и качественно планировать, и прогнозировать развитие экономики, определять приоритеты для инвестиций по вводу производственных мощностей, оценивать возможность грузовой логистики для отгрузки произведенной продукции.

ГИС ЭПД станет важнейшим импульсом для всеобщей цифровизации транспортной отрасли, развития мультимодальных перевозок.

В статье исследуются процессы и результаты внедрения цифровых экосистемных платформенных решений в рамках взаимодействия участников перевозочного процесса на электронной площадке проектируемой в настоящее время НЦТЛП – ГосЛог.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой проведенного исследования выступает методология реализации экосистемного подхода к взаимодействию субъектов транспортно-логистических отношений, который состоит в формировании единого цифрового пространства за счет объединения участников перевозок (контрагентов), совместно использующих цифровые ресурсы, данные и сервисы для достижения общей цели – эффективного построения и реализации схем мультимодальных схем транспортно-логистических отношений.

Исследование базируется на: теории транспортно-логистических систем, в частности, интеллектуальных и мультимодальных транспортных систем; теории и методологии управления цепями поставок; методологии декомпозирования структурных элементов систем и их непрерывной причинно-следственной связанности.

Научная гипотеза исследования состоит в следующем. Одним из ключевых механизмов повышения эффективности функционирования современной национальной транспортно-логистической системы является внедрение цифровых экосистемных решений, позволяющих: ускорить сроки доставки грузов, сократить транзакционные издержки, связанные с поиском, размещением, оформлением, мониторингом и контролем исполнения заказов на перевозки; повысить пропускные и провозные способности транспортной инфраструктуры; развить интеграцию смежных видов транспорт; увеличить масштабы предоставления мультимодальных грузовых перевозок.

Исследование подготовлено с опорой на научные труды ряда авторов. Например, исследованию методических инструментов оценки разрывов цифровой зрелости грузовладельцев рассмотрено А.В. Бабкиным, Е.В. Шкарупета, Т.А. Гилевой, Ю.С. Положенцевой, Л. Чэнь [1]. Необходимость формирования цепей совместного потребления услуг перевозок в рамках построения единого цифрового бесшовного транспортного пространства доказана Е.М. Волковой [2]. Цифровой фактор обеспечения экономической безопасности интеллектуальных транспортных систем подробно рассмотрен Н.А. Журавлевой, А.Б. Никитиным [4, 5]. Н.В. Островская, С.Е. Барыкин, А.Ю. Бурова [8] важное внимание уделили доказательству необходимости оцифровки процессов проектного менеджмента в национальных промышленных и транспортных системах. Экономическому обоснованию создания интегрированного информационного пространства взаимодействия транспортных компаний и клиентов уделено внимание Ю.И. Соколовым, О.В. Ефимовой, И.М. Лавровым [9]. Изучение индикаторов эффективности инвестиций в проекты оцифровки железнодорожных перевозок рассмотрено Л.М. Чеченовой [10].

Наше исследование дополняет ряд опубликованных исследований по выбранной тематике и уточняет экономические последствия внедрения цифровых экосистемных платформенных решений в транспортной отрасли страны.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сформулированы проблемы и вызовы современного этапа развития транспортной отрасли.

Особенностями и вызовами современного этапа развития транспортной отрасли, функционирования рынка услуг грузовых перевозок, по мнению автора, выступают:

- Неоднородность рынка грузовых перевозок – присутствие на нем значительного числа небольших перевозчиков (так, на автомобильном транспорте число малых организаций и индивидуальных предпринимателей достигает 85% от общего числа автоперевозчиков); для таких перевозчиков остается низким уровень проникновения, доступности цифровых услуг; невозможен непрерывный контроль безопасности перевозок; сохраняется малая доля оформления электронных перевозочных документов. Как следствие, образуются «цифровые разрывы» в построении оцифрованных цепей перевозок, появляются сложности эффективного управления ими, поскольку в электронные цепи перевозок полноценно вовлечены субъекты в основном только субъекты крупного бизнеса, другие участники перевозочного процесса не охвачены электронными каналами взаимодействия.
- Небольшие грузоперевозчики зачастую не имеют развернутой сети структурных подразделений по территории страны, не имеют ресурсной возможности по содержанию штата контролеров технического состояния подвижного состава и проведения обязательных медицинских осмотров сотрудников, управляющих транспортными средствами.
- Рост спроса участников грузовых перевозок на мультимодальные перевозки, оформляемых по принципу «от двери до двери» по единому перевозочному документу (единому набору электронных документов).
- «Цифровое поведение» грузовладельцев, использование электронных каналов коммуникаций и информационных систем, что предопределяет необходимость поиска, приобретения услуг, оформления заказов и перевозочных документов на базе онлайн-платформ и электронных систем.
- Требования грузовладельцев и государственных органов к сокращению сроков и стоимости грузовых перевозок.
- Появление на рынке услуг грузовых перевозок новых «цифровых» участников: компаний отраслей информационных технологий и телекоммуникаций; влияние на процессы перевозок цифровых экосистем, создаваемых такими компаниями.
- Развитие трансграничных маршрутов товародвижения, что задает новые требования по цифровизации транспортной отрасли (интеграции перевозчиков между странами).

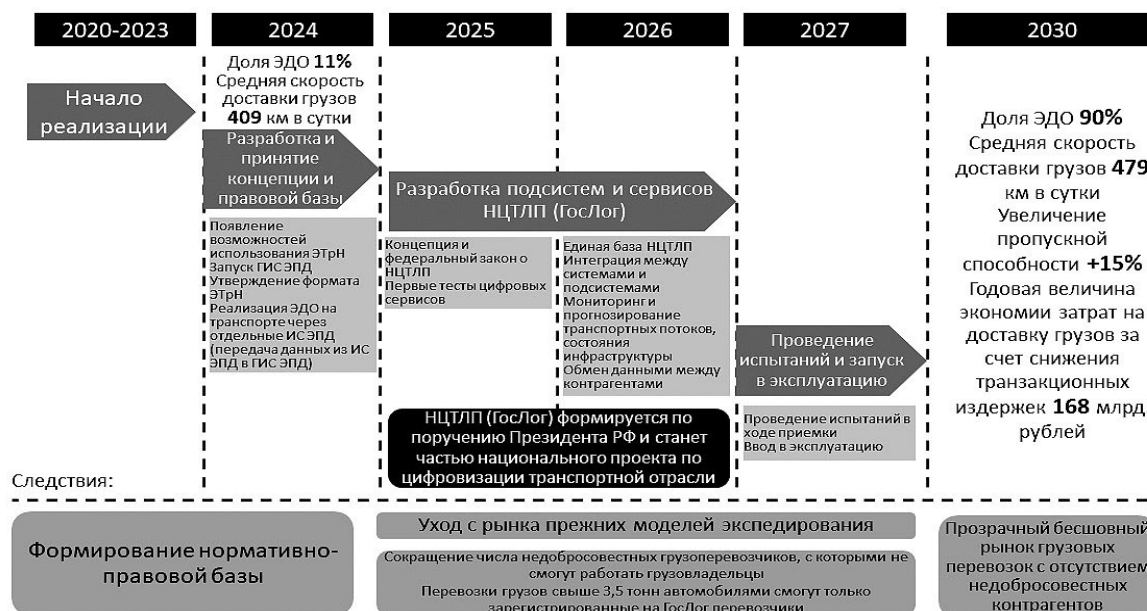
- Повышение запросов со стороны общества в целом к ограничению воздействия транспорта на окружающую среду.
- Рост требований со стороны всех участников перевозок к их безопасности, включая непрерывный цифровой мониторинг и контроль соблюдения правил и стандартов безопасности грузовых перевозок.
- Появление новых требований государства к экспедиторам (в связи с изменениями федерального законодательства от 07.06.2025 № 140-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О транспортно-экспедиционной деятельности») [6], предусматривающих создание реестра экспедиторов, обязанных среди прочего при приемке груза выявлять запрещенные и ограниченные в обороте предметы и вещества, а также внедрять обязательный электронный документооборот в сфере транспортно-экспедиционной деятельности.
- Внедрение новых форм перевозочных документов при поставках грузов по всем видам транспорта.
- Различный уровень цифровой зрелости (степени внедрения и использования цифровых технологий) отдельных участников перевозок, что предопределяет необходимость сокращения дифференциации его значений по различным контрагентам за счет использования совместных цифровых ресурсов и технологий взаимодействия на единой электронной площадке.
- Необходимость интеграции данных различных информационных систем для аккумулированного централизованного их использования в рамках единой платформы.

Систематизированы этапы и основные эффекты от внедрения единой платформы НЦТЛП – ГосЛог.

На Рис. 1 приведена хронология мероприятий и событий по конструированию Национальной цифровой транспортно-логистической платформы.

Хронологические рамки внедрения НЦТЛП охватывают период 2020–2030 гг. В 2020–2023 гг. прошла подготовка к запуску основного модуля системы – информационной системы «Электронные перевозочные документы»: были разработаны формы электронных документов, проведено тестирование их применения отдельными перевозчиками, государственными компаниями. В 2024 г. согласно решению Правительства РФ [7] запущен эксперимент по созданию, апробации и внедрению информационного механизма НЦТЛП на пилотных площадках, выбранных маршрутах грузоперевозок. В 2025–2026 гг. в систему планируется внедрить цифровые сервисы, провести эксперимент и тестовые испытания оцифрованного взаимодействия участников. С 2026 г. предусмотрен обязательный переход участников грузовых перевозок на юридически значимый обмен электронными документами. Полноценный ввод в эксплуатацию НЦТЛП на всей территории страны ожидается с 2027 г.

На конец 2024 г. (Рис. 1) доля электронного документооборота на транспорте составляла 11%, а к 2030 г. Минтранс РФ поставлена задача по ее увеличению до 90%. Увеличение пропускной способности транспортной инфраструктуры



Источник: составлено автором на основе [3] Strategy Partners

Рис. 1. Хронология реализации мероприятий и событий в рамках конструирования Национальной цифровой транспортно-логистической платформы (ГосЛог)

Fig. 1. Chronology of activities and events during the development of the National Digital Transport and Logistics Platform (GosLog)

страны (по всем видам транспорта) должно составить не менее 15% к уровню 2024 г. [3]. Средняя скорость доставки груза по всем видам транспорта, благодаря оцифровке всех транспортно-логистических процессов и объединению участников перевозок на основе единой платформы достигнет к 2030 г. 479 км в сутки (приращение на 17%). Годовой экономический эффект за счет сокращения простоев и транзакционных издержек оценивается в 168 млрд. рублей. Внедрение НЦТЛП позволит устранить из цепочек поставок недобросовестных, «серых» контрагентов.

В результате внедрения сквозного и обязательного для всех участников грузовых перевозок электронного документооборота будет достигнута их прозрачность, произойдет снятие барьеров обмена данными между участниками, контролирующими органами, сократятся простои транспорта и потери времени на принятие решений, ожидается значительное сокращение затрат труда и транзакционных издержек.

Сформирована концептуальная схема, отражающая результаты аккумулирования, верификации и использования данных о перевозках на площадке единой Национальной цифровой транспортно-логистической платформы.

На Рис. 2 показана концептуальная схема, отражающая результаты аккумулирования, верификации и использования данных о перевозках на площадке единой национальной цифровой платформы, в рамках которой контрагенты обмениваются различными данными при организации предоставления услуг

грузовых перевозок, в том числе мультимодальных, осуществляют электронный документооборот перевозочных документов, получают необходимую ценностно-значимую информацию, необходимую для выполнения бизнес-процессов транспортных организаций.

Данные Рис. 2 демонстрируют процесс и результат использования ценностно значимой информации (данных), благодаря их аккумуляции на ГИС ЭПД и НЦТЛП. Данные о перевозках (прибытие и отправление транспортных средств, остановки, следование по маршруту, отклонения в графике движения) непрерывно собираются с транспортных средств и инфраструктуры, поступают из электронных документов, затем передаются в ГосЛог, где обрабатываются, анализируются, происходит формирование электронных документов, отчетов, происходит дальнейшая передача данных по цепи поставок, а также в контролирующие органы.

Раскрыты особенности цифровых сервисов, предлагаемых рынку крупнейшим национальным перевозчиком грузов и владельцем железнодорожной инфраструктуры общего пользования ОАО «РЖД», которые внедряются в ГИС «Электронные перевозочные документы» и впоследствии – на площадке Национальной цифровой транспортно-логистической платформы.

Компания ОАО «РЖД» реализует экосистемный подход к взаимодействию со своими клиентами-грузовладельцами, который заключается в следующем:

- 90% клиентов-грузовладельцев (по данным на конец 2024 г.) взаимодействуют с железнодорожным перевозчиком в цифровом формате посредством оформления заказов, перевозочных документов, осуществления мониторинга и контроля движения грузов на электронной



Источник: построено автором на основе [3]

Рис. 2. Концептуальная схема, отражающая результаты аккумуляции, верификации и использования данных о перевозках на площадке единой национальной цифровой платформы

Fig. 2. Flow chart of the accumulation, verification, and use of transportation data on the single national digital platform

- торговой площадке «Грузовые перевозки» [3].
- 72% услуг по перевозкам грузов оформляются железнодорожным перевозчиком и его клиентами в электронном виде. Этот процесс реализуется на основе создания личных кабинетов грузоотправителей ОАО «РЖД» через механизмы электронной алгоритмизации бизнес-процессов взаимодействия перевозчиков с контрагентами [3].
 - В экспериментальном режиме внедряется сервис по интеграции данных информационной системы железнодорожного перевозчика (АС Этран) с государственной информационной системой электронных перевозочных документов (ГИС ЭПД) для возможности построения и реализации мультимодальных схем грузовых перевозок с участием железнодорожного транспорта (внедряется сервис «Мультилог»).
 - Осуществляется интеграция и цифровой обмен данными информационных систем ОАО «РЖД» с информационными системами железных дорог дружественных стран.
 - Развиваются отдельные локальные цифровые платформенные решения по поиску заказов и их оформлению на единой электронной площадке сырьевых грузов (электронная площадка «Оператор товарных поставок»), что способствует оцифрованному комбинированию биржевых сделок, заключаемых на Санкт-Петербургской товарно-сырьевой бирже, с процессами отгрузки товаров железнодорожным транспортом.

Основные элементы платформенной экосистемы ОАО «РЖД» и соответствующие статистические индикаторы ее функционирования показаны на Рис. 3.



Источник: построено автором на основе [3]

Рис. 3. Элементы платформенной экосистемы ОАО «РЖД» и статистические индикаторы ее функционирования (на конец 2024 г.)

Fig. 3. Components of Russian Railways JSC's platform ecosystem and its operational statistics (as of the end of 2024)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании мы получили следующие важнейшие его результаты.

Особенности, проблемы и вызовы для рынка грузовых перевозок связаны с его неоднородностью, ростом требований грузовладельцев к увеличению скорости, уменьшению сроков поставок, запросами на мультимодальность, развитием цифрового поведения контрагентов, вхождением на рынок транспортных услуг ИТ-компаний, значительным усилением требований к безопасности, необходимостью аккумулирования больших массивов данных о перевозках для реализации соответствующих цифровых технологий. Выявленные проблемы и вызовы предопределили необходимость внедрения экосистемных цифровых платформенных решений участниками транспортной отрасли по организации их взаимодействия и обмену данными на единой электронной площадке.

В исследовании рассмотрен процесс создания в России Национальной цифровой транспортно-логистической платформы – государственной информационной системы, предназначенной для организации электронного взаимодействия между участниками транспортно-логистической деятельности, а также государственными органами.

Выявлено, что внедрение в России Национальной цифровой транспортно-логистической платформы позволит к 2030 г.: достичь государственных задач по переводу к электронному формату взаимодействия всех участников грузовых перевозок; оформлять и передавать электронные перевозочные документы в единой информационной системе, что обеспечит: рост пропускной способности транспортной инфраструктуры страны (по всем видам транспорта) к 2030 г. в сравнении с 2024 г. на 15%, повышение средней скорости доставки груза по всем видам транспорта на 17%; получение годового экономического эффекта за счет сокращения простоев и транзакционных издержек в объеме 168 млрд. рублей, а также исключит из цепей поставок недобросовестных контрагентов.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declares that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Гилева Т.А., и др. Методика оценки разрывов цифровой зрелости промышленных предприятий // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2022. Т. 13, № 3. С. 443–458. doi: 10.18184/2079-4665.2022.13.3.443-458 EDN: MHCVBQ
2. Волкова Е.М. Развитие совместного потребления в городских транспортных системах // Инновационные транспортные системы и технологии. 2021. Т. 7, № 3. С. 56–66. doi: 10.17816/transsyst20217356-66 EDN: VMXHQZ

3. Выступления участников конференции «Цифровая индустрия промышленной России – 2025», 4 июня 2025 года [Internet]. Дата обращения: 25.06.2025. Режим доступа: https://vk.com/video-214515068_456239830
4. Журавлева Н.А. Развитие рынка услуг железнодорожного транспорта в контексте экономической безопасности России // Экономические науки. 2015. № 132. С. 15–19. EDN: VQWYVF
5. Журавлева Н.А., Никитин А.Б. Экономическая безопасность интеллектуальных транспортных систем: монография. Санкт-Петербург: Институт независимых социально-экономических исследований – оценка, 2022. EDN: HRTVWI
6. О внесении изменений в Федеральный закон «О транспортно-экспедиционной деятельности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 7 июня 2025 г. № 140-ФЗ [Internet]. Дата обращения: 25.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_507282
7. О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов: постановление Правительства РФ от 3 июля 2024 года № 908 [Internet]. Дата обращения: 25.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_480198
8. Островская Н.В., Барыкин С.Е., Бузова А.Ю. Цифровизация проектного менеджмента в государственном и муниципальном управлении России // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2020. Т. 11, № 2. С. 206–215. doi: 10.17747/2618-947X-2020-2-206-215 EDN: TBLUER
9. Соколов Ю.И., Ефимова О.В., Лавров И.М. Экономическое обоснование создания интегрированного информационного пространства взаимодействия транспортных компаний и клиентов: монография. М.: Российский университет транспорта (МИИТ), 2019. EDN: YXUBIL
10. Чеченова Л.М. Специфика инвестиционных проектов развития, реализуемых на железнодорожном транспорте. В кн.: Управление проектами в новых реалиях. Сборник научных статей международной научно-практической конференции. Под ред. Н.А. Журавлевой. Санкт-Петербург, 2020. С. 108–114. EDN: ZKDGPY

REFERENCES

1. Babkin AV, Shkarupeta EV, Gileva TA, et al. Methodology for assessing digital maturity gaps in industrial enterprises. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2022;13(3):443–458. (In Russ.) doi: 10.18184/2079-4665.2022.13.3.443-458 EDN: MIHCBQ
2. Volkova EM. Factors Determining the Success of HSR Building Projects. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2021;7(3):56–66. (In Russ.) doi: 10.17816/transsyst20217356-66 EDN: VMXHQZ

3. Presentations by participants of the conference “*Digital Industry of Industrial Russia – 2025*”, June 4, 2025 [Internet]. Accessed: June 25, 2025. Available from: https://vk.com/video-214515068_456239830 (In Russ.)
4. Zhuravleva NA. Development of the railway transport market in the context of economic security of Russia. *Economic sciences*. 2015;132:15–19. (In Russ.) EDN: VQWYVF
5. Zhuravleva NA, Nikitin AB. *Economic security of intelligent transport systems: a monograph*. St. Petersburg: Institute of Independent Socio-Economic Research – assessment; 2022. (In Russ.) EDN: HRTVWI
6. О внесении изменений в Федеральный закон «О транспортно-экспедиционной деятельности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 7 июня 2025 г. No 140-FZ [Internet]. Accessed: June 25, 2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_507282 (In Russ.)
7. О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов: постановление Правительства РФ от 3 июля 2024 года No 908 [Internet]. Accessed: June 25, 2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_480198 (In Russ.)
8. Ostrovskaya NV, Barykin SE, Burova AY. Digitalization of project management in state and municipal government of Russia. *Strategic Risk Decisions & Management*. 2020;11(2):206–215. (In Russ.) doi: 10.17747/2618-947X-2020-2-206-215 EDN: TBLUER
9. Sokolov YuI, Efimova OV, Lavrov IM. *Economic justification for the creation of an integrated information space for interaction between transport companies and customers: monograph*. Moscow: Russian University of Transport (MIIT); 2019. (In Russ.) EDN: YXUBIL
10. Chechenova LM. The specifics of investment development projects implemented in railway transport. *Project management in new realities. Collection of scientific articles of the international scientific and practical conference*. Edited by N. Zhuravleva. St.Petersburg; 2020:108–114. (In Russ.) EDN: ZKDGPy

Сведения об авторе:

Гулый Илья Михайлович, д-р экон. наук;
eLibrary SPIN: 1788-1967, ORCID: 0000-0001-8676-1561;
E-mail: ilya.guliy@mail.ru

Information about author:

Ilya M. Gulyi, Dr. Sci. (Economics);
eLibrary SPIN: 1788-1967; ORCID: 0000-0001-8676-1561;
E-mail: ilya.guliy@mail.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst690106>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© Д. В. Еловего

СПб ГУП «Горэлектротранс»

(Санкт-Петербург, Россия)

ИНДИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ ОЦИФРОВАННЫХ РЕШЕНИЙ КАК НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассажиРОВ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Цель. Дополнение существующих методик оценки качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта новым подходом, в основу которого положена индикация результатов внедрения оцифрованных решений для развития комфортного пассажирского сервиса.

Методы. Анализ количественных и качественных показателей качества обслуживания пассажиров в системе городского электрического транспорта, систематизация транспортных документов стратегического планирования для мониторинга качества транспортного обслуживания населения, обобщение положений исследований авторитетных научных и консалтинговых организаций по развитию городского пассажирского транспорта.

Результаты. Обоснованы предложенные автором дополнения к существующей системе оценки качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта, а именно: рассмотрены существующие методики индикации результатов внедрения новых параметров, включающие оценку: инструментов умной оплаты проезда, внедрение умной инфраструктуры перевозок и интеллектуального транспорта, использование электронных путевых листов, удаленные медицинские осмотры водителей.

Предложенный автором подход имеет практическое значение для обоснования улучшения результативности системы городских пассажирских перевозок по итогам внедрения мероприятий и проектов оцифровки перевозочного процесса.

Заключение. Материалы исследования адресованы сотрудникам научных, образовательных, проектных организаций, органов государственной власти, местного самоуправления, задействованных в разработке и реализации проектов развития городского общественного транспорта, полезны для обоснования результативности и эффективности мероприятий по внедрению цифровых решений для совершенствования транспортного обслуживания пассажиров.

Ключевые слова: качество обслуживания пассажирским транспортом; индекс качества обслуживания городским пассажирским транспортом; пассажирские перевозки; транспортная доступность; комфорт и удобство пассажиров; наземный городской электрический транспорт.

Как цитировать:

Еловего Д.В. Индикация результатов внедрения оцифрованных решений как новый подход к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 384–395. doi: 10.17816/transsyst690106

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© **D.V. Elovego**

St. Petersburg GUP “Gorelektrotrans”

(St. Petersburg, Russia)

**PERFORMANCE INDICATORS OF IMPLEMENTED DIGITAL
SOLUTIONS AS A NEW QUALITY ASSESSMENT APPROACH
TO PASSENGER TRANSPORTATION BY URBAN LAND
ELECTRIC TRANSPORT**

AIM: The work aimed to extend the existing quality assessment methods of passenger transportation by urban land electric transport by adding a new approach based on the performance indicators of the implemented digital solutions to provide of comfortable passenger services.

METHODS: Quantitative and qualitative analysis of the quality of passenger transportation by urban land electric transport; arrangement of strategic transport plans to monitor the quality of public transportation services, and synthesis of research on the development of urban passenger transport by reliable scientific organizations and advisors.

RESULTS: We verified the proposed new methods of quality assessment of passenger transportation by urban land electric transport and reviews the existing performance assessment methods of new parameters, including the assessment of smart fare payment tools; the introduction of smart transportation infrastructure and smart transport; the use of electronic waybills, and remote medical examinations of drivers.

The proposed approach may be used to substantiate the performance improvement of the urban passenger transportation system following the implementation of policies and projects for the transportation digital transformation.

CONCLUSION: The study results may be useful to employees of scientific, educational, and design entities, authorities, and local governments involved in the development and implementation of urban public transport development projects. They may be used to substantiate the performance and efficiency of digital solution implementation projects to improve passenger transportation.

Keywords: passenger transportation quality; urban passenger transportation quality; passenger transportation; transport accessibility; passenger comfort and convenience; urban land electric transport.

To cite this article:

Elovego DV. Performance indicators of implemented digital solutions as a new quality assessment approach to passenger transportation by urban land electric transport. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):384–395. doi: 10.17816/transsyst690106

ВВЕДЕНИЕ

Достижение устойчивого и безопасного функционирования пассажирских перевозок обеспечивается целым комплексом параметров соответствующей транспортной системы и рассматривается через призму различных оценок, в частности, путем изучения качества транспортного обслуживания пассажиров [1].

Тенденции развития производительных сил и производственных отношений, развитие форм экономики клиентоориентированности, возрастание роли ценностно-ориентированного подхода к управлению взаимоотношениями транспортных организаций с потребителями их услуг, рост требований пассажиров к росту скорости и комфортабельности поездок – все это предопределяет высокую значимость процесса управления качеством пассажирских перевозок, включая его планирование, организацию, мониторинг и контроль, внедрение инноваций. В этом отношении необходимы новые подходы к оценке качества обслуживания пассажиров городского электрического транспорта. В статье исследуются существующие подходы к оценке качества транспортного обслуживания и предлагаются направления его совершенствования с учетом требований цифровизации.

Оценке качества транспортного обслуживания пассажиров уделено внимание в различных научных публикациях. Целеполаганию и определению приоритетов, выбору акцентов для совершенствования современной системы оценки качества транспортного обслуживания пассажиров посвящены работы Е.И. Дитриха [2, 3]. Авторы Е.М. Волкова [4], И.М. Гулый [5], И.А. Зайцева [6] рассматривают частные и интегральные показатели оценки качества обслуживания пассажиров. Е.В. Яковлевым, Г.В. Моховой [7] обоснована необходимость оценки качества транспортных услуг по итогам внедрения инновационных технологий при перевозках. Оценка качества реализации процессов интеграции нескольких видов транспорта в городские системы перевозок, внедрения мультимодальных схем пассажирского сообщения детально раскрыта в работе Н.А. Журавлевой, И.Л. Саковича [8]. Предложения по внедрению индикаторов, связанных с оцифровкой перевозочного процесса, обоснованы Л.М. Чеченовой [9].

Настоящее исследование автора является дополнением ряда существующих публикаций по выбранной тематике.

Цель исследования: Дополнение существующих методик оценки качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта новым подходом, в основу которого положена индикация результатов внедрения оцифрованных решений для развития комфортного пассажирского сервиса.

Выдвинутая автором гипотеза заключается в необходимости дополнения существующей системы оценки качества транспортного обслуживания пассажиров, включающей индикацию регулярности, своевременности, гибкости, комфортности, безопасности, информационной открытости, такими важными и необходимыми показателями, как:

- уровень внедрения цифровых сервисов для пассажиров,

- наличие оцифрованной инфраструктуры и эксплуатируемого с использованием цифровых технологий подвижного состава,
- использование перевозчиками электронных средств обмена данными.

В статье предложен подход к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского электрического транспорта с учетом внедрения оцифрованных решений по развитию комфортного пассажирского сервиса, включая инструменты цифровизации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на систематизации транспортных документов стратегического планирования для мониторинга качества транспортного обслуживания населения, анализе количественных и качественных показателей качества обслуживания пассажиров в системе городского электрического транспорта, к которым относятся:

- уровень развития инфраструктуры перевозок,
- физическое транспортных средств,
- насыщенность и рациональность маршрутной сети,
- информационную прозрачность,
- ценовую доступность [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Определение проблематики функционирования современных систем городского наземного электрического транспорта.

Ключевые проблемы, связанные с эффективным и устойчивым развитием наземного пассажирского транспорта, следующие:

- Проблема бесперебойности и регулярности перевозок, связанная с дефицитом водителей, простоями по причине неисправности подвижного состава, эту проблему углубляют неравномерность интервалов движения, недозагрузка в вечерние и ранние часы и переполненность транспорта в часы пик.
- Проблема безопасности, которая связана со случаями дорожно-транспортных происшествий.
- Проблема гибкости – транспортные системы перевозок пассажиров в крупных городах развиваются в сторону стандартизации, объединения маршрутов сети, в то время как персонифицированные маршруты (пример: сервис «По пути» Мосгортранса, позволяющий пассажирам заказывать автобус по требованию до нужной им остановки) зачастую недостаточно развиты.
- Проблема связанности различных видов транспорта и развития мультимодальных перевозок. Во многих городах сопряжение и эффективные схемы мультимодальных пассажирских перевозок ограничены барьерами внедрения единых тарифов, рассогласованности планирования различных перевозчиков, отсутствия единой информационной городской среды – интеллектуальной информационно-коммуникационной системы управления

городским пассажирским транспортом, необходимой для внедрения маршрутов с использованием нескольких видов транспорта.

- Проблема высокой нагрузки пассажирского общественного и личного автотранспорта на транспортную инфраструктуру, следствием которой являются многочисленные заторы и пробки на городских магистралях.
- Проблема недостаточной эффективности контроля со стороны государственных органов для небольших перевозчиков (малых организаций и индивидуальных предпринимателей).
- Проблема низкого или недостаточного уровня внедрения современного инновационного подвижного состава, в том числе транспортных средств, предназначенных для маломобильных категорий граждан, а также транспорта, оснащенного цифровыми устройствами, комфортными цифровыми пассажирскими сервисами.
- Проблема неудобного для отдельных пассажиров режима работы (малый выход на линии в вечерние часы и в выходные дни, дублирование отдельных маршрутов, непокрытие значительной части территории города маршрутами ввиду ошибок планирования и ограниченности инфраструктуры).
- Проблема недостаточной мобильности населения при совершении поездок на городском общественном транспорте, сохранение высокой доли использования личного транспорта в черте города.
- Проблема высокой доли «серых» перевозок при оплате проезда, высокой доли «безбилетников» при оплате проезда.

Вызовами для перевозчиков, обусловленными возрастающими требованиями со стороны потребителей услуг перевозок (пассажиров), по мнению автора, являются:

- Широкое использование пассажирами мобильных телефонов, смартфонов и других цифровых устройств, что предопределяет вовлечение таких устройств в процессы оказания транспортных услуг.
- Растущий спрос со стороны пассажиров на самообслуживание в транспорте, на самостоятельное планирование поездок при использовании платформенных решений.
- Растущий спрос пассажиров на предоставление им дополнительных услуг, сопровождающих основную перевозку.
- Ожидания пассажиров на персональное (персонифицированное) предоставление им информации, связанное с планированием и организацией поездок.
- Необходимость планирования времени в пути и планирования маршрутов пассажирами с использованием цифровых систем, аккумулирующих весь исчерпывающий перечень данных о перевозках в режиме реального времени.
- Запрос на фокусирование внимания перевозчиков на пассажиров не только в рамках одной поездки, но и в течение всего периода установления отношений «перевозчик-пассажир», что обуславливает внедрение механизмов формирования цифровых профилей пассажиров, «персонального клиентского пути» и управлению «пожизненной ценности клиента».

2. Раскрытие существующих подходов к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров городским наземным транспортом.

Применяемые в настоящее время подходы к оценке качества транспортного обслуживания пассажиров городским наземным транспортом предусматривают, в основном, последовательность расчетов в три этапа.

Первый этап – определение значений частных показателей оценки качества транспортного обслуживания внутри каждой из групп (группы формируются по таким направлениям, как: 1) физическая доступность (наличие конкретного числа единиц транспорта на городских маршрутах)); 2) ценовая доступность в части соответствия тарифов на проезд платежеспособному спросу населения; 3) комфортабельность и удобство городского пассажирского транспорта; 4) функциональность маршрутной сети; 5) безопасность; 6) экологичность).

Второй этап – расчет средних значений внутри каждой группы и получение значений групповых индексов качества.

Третий этап – расчет значений интегральных индексов качества путем усреднения значений групповых индексов. По значениям интегральных индексов качества транспортного обслуживания проводится сопоставление и ранжирование различных городов, формулируются меры и разрабатываются мероприятия по улучшению значений показателей.

Группировка показателей оценки транспортного обслуживания населения проводится по следующим направлениям:

1) Физическая доступность (наличие конкретного числа единиц транспорта на городских маршрутах общественного транспорта), которая оценивается по частным составляющим (индикаторам): охвату городской территории линиями эксплуатации общественного транспорта; доля жителей города, имеющих доступ к общественному транспорту; средние интервальные дистанции между остановками общественного транспорта.

2) Ценовая доступность в части соответствия тарифов на проезд платежеспособному спросу населения, индикатором которой выступают такие параметры, как удельный вес месячной оплаты проездного абонемента в величине средних доходов на одного жителя; кратность двойной суммы за оплату проезда в общественном транспорте к сумме беспересадочного тарифа; наличие возможности безналичной оплаты проезда или оплаты проезда электронной транспортной картой.

3) Функциональность маршрутной транспортной сети, которая оценивается средними временными затратами пассажира на ожидание прибытия транспорта на остановках; соотношением средней скорости движения городского общественного и личного автотранспорта; уровнем заполняемости каждой транспортной единицы; долей подвижного состава от общего их числа на линии в течение суток, которая находится на линии в вечерние часы.

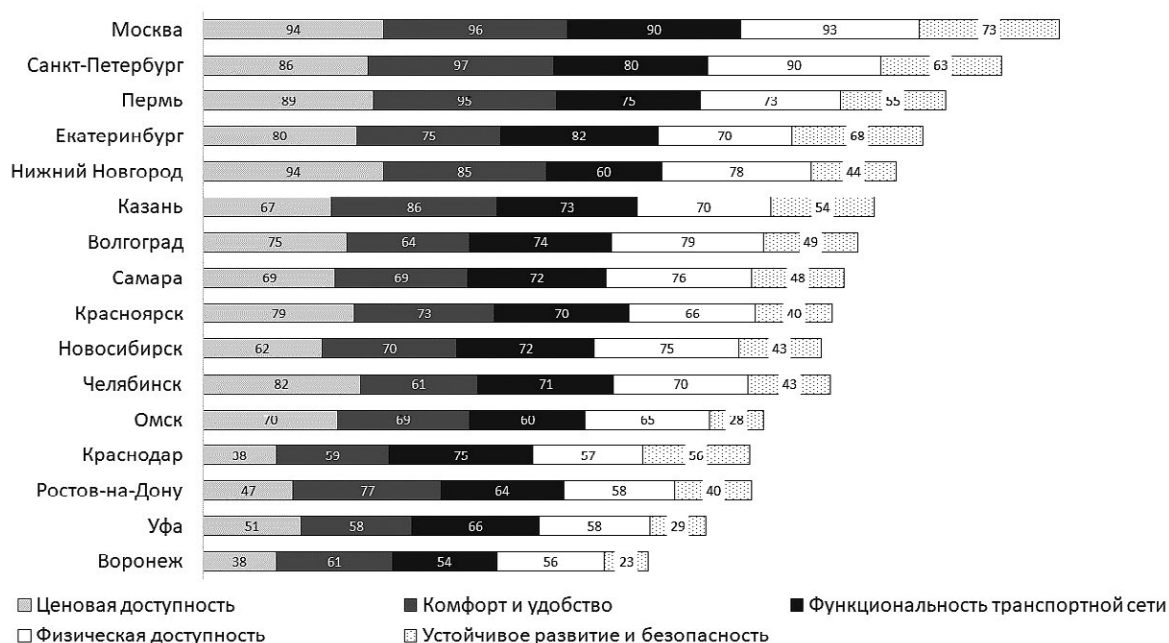
4) Комфортабельность и удобство городского пассажирского транспорта, которые характеризуются: открытостью данных о транспорте, маршрутах, актуальном расписании в сети Интернет; предоставлением пассажирам данных о движении транспорта в режиме реального времени онлайн; средним возрастом

эксплуатируемого парка подвижного состава; наличием в городе выделенных полос для движения общественного транспорта; эксплуатацией подвижного состава, пригодным для пользования маломобильными категориями пассажиров.

5) Безопасность и экологичность, характеризуемые числом пострадавших граждан в дорожно-транспортных происшествиях с участием городского пассажирского транспорта в расчете на численность городского населения; числом раненных и погибших в соответствующих ДТП, долей экологически чистого транспорта (электрического, работающего на безуглеродном топливе); долей обновления транспорта в общем числе эксплуатируемого подвижного состава [10].

По данным, приведенным в материале [10], выполняется ранжирование российских городов-миллионников по качеству обслуживания населения городским пассажирским транспортом.

По данным Рис. 1, где наглядно отражены балльные значения качества транспортного обслуживания населения, видно, что наиболее высокий уровень качества отмечен в городах: Москва (89), Санкт-Петербург (84), Екатеринбург (75), Нижний Новгород (72), Пермь (78) и Казань (71). Наибольшее приближение к рекомендованным эталонным параметрам отмечено по таким параметрам,



Источник: построено автором на основе [10]

Рис. 1. Балльные значения показателей транспортного обслуживания населения городским общественным транспортом по городам России с численностью населения свыше 1 млн. жителей (на конец 2023 года, баллов (наибольшее-эталонное значение баллов по каждой оцениваемой группе равно 100))

Fig. 1. Performance scores of public passenger transportation in Russian cities with a population of over 1 million residents (as of the end of 2023; the highest reference score value for each assessed group is 100)

как: «доступность перевозок по цене», «комфортабельность поездок», а наибольшее отставание зафиксировано по обеспечению экологической чистоты и безопасности перевозок.

3. Подготовка предложений по совершенствованию показателей оценки качества обслуживания пассажиров в системе городского наземного электрического транспорта.

Современный этап развития систем наземного городского электрического транспорта в условиях формирования цифровой экономики, предопределяет необходимость дополнения показателей оценки качества транспортного обслуживания. Автор предлагает следующие основные направления по дополнению процедуры оценки:

1. Рассмотрение доли объектов транспорта (транспортных средств, транспортной инфраструктуры), в которых установлены цифровые устройства.

Предлагаемый параметр позволит оценить степень внедрения «умных» единиц подвижного состава, «умных» остановок, «умных» перекрёстков.

«Умные» остановки предусматривают оснащение остановочных пунктов наземного транспорта медиаэкранами для трансляции полезного контента, системами видеонаблюдения, в том числе определения текущей ситуации на остановках, подсчета числа пассажиров на них; предоставление Wi-Fi для подключения устройств пассажиров, USB-гнезда для зарядки цифровых устройств, наличие тревожной кнопкой для экстренного вызова помощи.

«Умные перекрестки» предусматривают эксплуатацию автоматизированных систем управления дорожным движением в городах (использование камер для мониторинга интенсивности дорожного движения, кнопок активизации пешеходного перехода, камер и датчиков непрерывного наблюдения за состоянием физического износа дорожного полотна, работа «умных» регулируемых светофоров, метеостанций).

«Умный» подвижной состав – комплексное решение производителей подвижного состава совместно с перевозчиками по:

- ведению онлайн-мониторинга состояния водителя;
- осуществлению видео-мониторинга пассажиров;
- внедрению экранов по трансляции полезного и познавательного контента для пассажиров;
- автоинформированию остановок;
- использованию устройств электронной оплаты проезда;
- ведению Глонасс-мониторинга;
- внедрению электронных маршрутоуказателей;
- оснащению кабины водителя системой помощи при вождении (антисон, упреждения случаев курения, разговоров по телефону, потери координации и др.);
- внедрению датчиков контроля расхода топлива и фактической исправности технических элементов подвижного состава.

На Рис. 2 наглядно показаны примеры устройств «умного» подвижного состава внутри пассажирского салона.



Источник: построено автором на основе [11]

Рис. 2. Наглядные примеры устройств «умного» подвижного состава

Fig. 2. Illustrations of smart rolling stock

2. Рассмотрение доли транспортных средств, в которых применяются инструменты «умной» оплаты проезда. Такие инструменты предполагают многоканальную безналичную оплату проезда пассажиром, внедрение цифровых профилей пассажиров с возможностью реализации механизмов оплаты проезда при помощи биометрической идентификации.

Предлагаемый параметр позволит оценить результаты внедрения мероприятий по сбору данных о перевозках для анализа спроса и планирования, обеспечению прозрачности перевозок, внедрению новой валидационной аппаратуры.

3. Рассмотрение доли персонала (водителей транспортных средств), использующих решения по переходу к безбумажному взаимодействию по оформлению допусков к выходу на линию и получению заданий из центра управления перевозками.

Предлагаемый параметр позволит оценить результаты использования перевозчиками электронных путевых листов, которые уменьшают нагрузку на водителей, снижают утомляемость. Для многих перевозчиков в перспективе появится возможность автоматического назначения водителей на маршруты с помощью искусственного интеллекта.

4. Рассмотрение доли персонала (водителей транспортных средств), по которым решения предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров принимаются удаленно, без непосредственного контакта с медицинским работником.

Предрейсовые медицинские осмотры водителей на аппаратах телемедицины приводят к сокращению времени ожиданий и непроизводительных потерь (затрат рабочего времени не на линии), обеспечивают высокую точность измерений показателей здоровья сотрудников. Предлагаемый параметр позволит оценить

результаты экономии ресурсов на проведение перевозчиком медицинских осмотров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широко используемые методики оценки качества транспортного обслуживания пассажиров в системе городского транспорта предполагают осуществление последовательности расчетов по определению частных показателей, которые затем объединяются в группы – в итоге проводится оценка групповых показателей; далее рассчитывается итоговый показатель (уровень, балл) оценки качества транспортного обслуживания пассажиров. В настоящее время методики оценки качества транспортного обслуживания пассажиров аккумулируют набор данных, позволяющих рассчитать балльные значения таких параметров качества, как физическая доступность (наличие конкретного числа единиц транспорта на городских маршрутах); ценовая доступность в части соответствия тарифов на проезд платежеспособному спросу населения, комфортабельность и удобство городского пассажирского транспорта, функциональность маршрутной сети, безопасность, экологичность.

В результате проведенной оценки качества транспортного обслуживания пассажиров наземного городского транспорта в российских городах-миллионниках выявлено, что наиболее высокий уровень качества отмечен в городах: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Нижний Новгород, Пермь и Казань. Наибольшее приближение к рекомендованным эталонным параметрам в городах-миллионниках России отмечено по таким параметрам, как: «доступность перевозок по цене», «комфортабельность поездок», наибольшее отставание зафиксировано по обеспечению экологической чистоты и безопасности перевозок.

На основе исследования проблематики городского общественного транспорта и вызовов, стоящих перед транспортной системой городских пассажирских перевозок, обусловленной растущим «цифровым» поведением, востребованностью со стороны граждан цифровых сервисов, постоянным присутствием значительного числа пассажиров в онлайн-среде (сети Интернет), автором предложено дополнить систему показателей оценки следующими: доля объектов транспорта (транспортных средств, транспортной инфраструктуры), в которых установлены цифровые устройства; доля транспортных средств, в которых применяются инструменты для «умной» оплаты проезда; доля персонала (водителей транспортных средств), использующего решения по переходу к безбумажному взаимодействию по оформлению допусков к выходу на линию и получению заданий из центра управления перевозками; доля персонала (водителей транспортных средств), по которому решения предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров принимаются удаленно, без непосредственного контакта с медицинским работником.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declares that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. М.: Госстандарт России, 1997.
2. Дитрих Е.И. Все дороги ведут к людям // Транспортная стратегия – XXI век. 2018. № 39. С. 6–7. EDN: XQJMUH
3. Дитрих Е.И. Стратегическое развитие транспортной инфраструктуры // Транспортная стратегия – XXI век. 2018. № 40. С. 7. EDN: VMNCOP
4. Волкова Е.М. Комплексная оценка рынка пригородных пассажирских перевозок // Экономика железных дорог. 2016. № 9. С. 75–84. EDN: WIDHVVX
5. Гулый И.М. Направления совершенствования оценки качества предоставления услуг городского пассажирского транспорта // Экономические науки. 2024. № 241. С. 162–167. doi: 10.14451/1.241.162 EDN: UEGHSV
6. Зайцева И.А. Интегральная оценка результативности деятельности структурного подразделения транспортной организации // Транспортное дело России. 2024. № 4. С. 87–91. EDN: OEBWXE
7. Яковлев Е.В., Мохова Г.В. Внедрение инновационных технологий с целью повышения качества пассажирских перевозок в наземном городском пассажирском транспорте // Студенческий форум. 2023. № 34 (257). С. 24–26. EDN: YFWDOD
8. Журавлева Н.А., Сакович И.Л. Интеграция железнодорожных перевозок в транспортные системы городских агломераций // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2018. № 6 (79). С. 26–29. EDN: YSWXMT
9. Чеченова Л.М. Цифровая трансформация транспортной отрасли как основа устойчивого развития железнодорожной инфраструктуры // Вопросы новой экономики. 2021. № 4 (60). С. 25–29. doi: 10.52170/1994-0556_2021_60_25 EDN: YTZZBH
10. Рейтинг городов России по качеству общественного транспорта. Санкт-Петербург: Simetra, 2024.
11. Транспортная неделя 2024: материалы форума [Internet]. Дата обращения: 25.05.2025. Режим доступа: <https://2024.transweek.digital>

REFERENCES

1. GOST R 51004-96. *Transport services. Passenger transportation. Nomenclature of quality indicators*. Moscow: Gosstandart Rossii; 1997. (In Russ.)
2. Ditrikh EI. All roads lead to people. *Transportnaya strategiya – XXI vek*. 2018;39:6–7 (In Russ.) EDN: XQJMUH
3. Ditrikh EI. Strategic development of transport infrastructure. *Transportnaya strategiya – XXI vek*. 2018;40:7 (In Russ.) EDN: VMNCOP
4. Volkova EM. Comprehensive assessment of the suburban passenger transportation market. *Ekonomika zheleznih dorog*. 2016;9:75–84 (In Russ.) EDN: WIDHVVX
5. Gulyi IM. Directions for improving the assessment of the quality of urban passenger transport services. *Ekonomicheskie nauki*. 2024;241:162–167. (In Russ.) doi: 10.14451/1.241.162 EDN: UEGHSV

6. Zajceva IA. Integrated assessment of the performance of a structural unit of a transport organization. *Transportnoe delo Rossii*. 2024;4:87-91 (In Russ.) EDN: OEBWXE
7. Yakovlev EV, Mokhova GV. Implementation of innovative technologies to improve the quality of passenger transportation in ground urban passenger transport. *Studencheskij forum*. 2023;34(257):24–26 (In Russ.) EDN: YFWDOD
8. Zhuravleva NA, Sakovich IL. Integration of rail transport into transport systems of urban agglomerations. *Transport Rossijskoj Federacii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike*. 2018;6(79):26–29 (In Russ.) EDN: YSWXMT
9. Chechenova LM. Digital transformation of the transport industry as a basis for sustainable development of railway infrastructure. *Voprosy novej ekonomiki*. 2021;4(60):25–29 doi: 10.52170/1994-0556_2021_60_25 (In Russ.) EDN: YTZZBH
10. *Rejting gorodov Rossii po kachestvu obshchestvennogo transporta*. St. Petersburg: Simetra; 2024. (In Russ.)
11. Transport Week 2024: Forum Materials [Internet]. Accessed: May 25, 2025. Available from: <https://2024.transweek.digital> (In Russ.)

Сведения об авторах:

Елового Дмитрий Владимирович, начальник финансово-экономического управления СПб ГУП «Горэлектротранс»;
eLibrary SPIN: 2297-0808, ORCID: 0009-0008-3890-2698;
E-mail: dmitry.elovego@spbget.ru

Information about authors:

Dmitry V. Eloveno, head of the financial and economic Department, St. Petersburg GUP “Gorelektrotrans”;
eLibrary SPIN: 2297-0808, ORCID: 0009-0008-3890-2698;
E-mail: dmitry.elovego@spbget.ru

Рубрика 1. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЕКТЫ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

<https://doi.org/10.17816/transsyst684014>

© Г.Л. Огурцов, Н.А. Ермошин, А.М. Исмаилов

Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого
(Санкт-Петербург, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ

Цель. Разработка метода сравнительного анализа представительной выборки вариантов стратегий эксплуатации пролетного строения по совокупности разнородных признаков, характеризующих их надежность и экономичность, а также определение оптимального сочетания технических и технологических решений для обеспечения установленного расчетного срока службы.

Материалы и методы. Одним из основных технико-экономических показателей при выборе стратегии эксплуатации пролетного строения мостовых сооружений является стоимость проводимых ремонтно-восстановительных работ для достижения требуемых значений показателей надежности. Выбор рациональных мероприятий эксплуатации пролетных строений мостовых сооружений должен основываться на применении методов, учитывающих как многообразие и неоднородность факторов обеспечения их эксплуатационной надежности, так и стохастическую природу этих факторов. Для решения этой задачи предлагается метод оценки стратегии обеспечения эксплуатационной надежности железобетонных пролетных строений мостов, базирующийся на совокупности методов таксономического, инвестиционного анализа и теории рисков.

Результаты. Получена аналитическая модель, позволяющая определять оптимальную стратегию эксплуатации пролетного строения, основываясь на разнородных признаках, характеризующих надежность и экономичность, в которой установление количественных показателей надежности выполнено с помощью имитационного моделирования работы пролетного строения, учитывающего совместное влияние неопределенностей, обусловленных естественной вариативностью прочностных и деформационных параметров главных балок, стохастическим характером деградационных процессов и режимов нагружения.

Заключение. Представленный метод оценки стратегии эксплуатации пролетных строений, а также результаты, полученные при его апробации, позволяют эксплуатирующим дорожно-строительным организациям определять требуемые технические и технологические решения по обеспечению показателей надежности пролетных строений, а также прогнозировать сроки, состав и стоимость ремонтно-восстановительных работ в течение требуемого срока службы.

Ключевые слова: надежность; долговечность; безотказность; ремонтпригодность; пролетное строение; транспортное строительство; стратегии эксплуатации.

Как цитировать:

Огурцов Г.Л., Ермошин Н.А., Исмаилов, А.М. Применение таксономического анализа при оценке стратегии эксплуатации пролетного строения // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 396–408. doi: 10.17816/transsyst684014

Section 1. TECHNOLOGIES AND PROJECTS

Subject – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

© **G.L. Ogurtsov, N.A. Ermoshin, A.M. Ismailov**
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
(St. Petersburg, Russia)

TAXONOMIC ANALYSIS IN EVALUATING THE SUPERSTRUCTURE OPERATION STRATEGY

AIM: The work aimed to develop a comparative analysis method for a representative sample of operating strategy options of a superstructure based on a set of heterogeneous parameters of their reliability and cost-effectiveness and determine the optimal combination of engineering and process solutions to ensure the specified design service life.

METHODS: One of the main feasibility indicators used to select an operation strategy for the bridge superstructure is the cost of the repair and restoration performed to achieve the required reliability. The choice of reasonable operation options for bridge superstructures should be based on the methods considering both the diversity and heterogeneity of factors ensuring their reliability and the stochastic nature of these factors. To solve this problem, we propose a method to assess the reliability strategy of reinforced concrete bridge superstructures based on a combination of taxonomic and investment analysis methods and risk theory.

RESULTS: The study provides an analytical model that allows determining the optimal superstructure operation strategy based on heterogeneous reliability and cost-efficiency parameters. The quantitative reliability is determined by simulation modeling of the superstructure structure operation based on the combined influence of uncertainties caused by the natural variability of the strength and deformation of the girders and the stochastic nature of degradation and load conditions.

CONCLUSION: The proposed assessment method of the superstructure operation strategy and its testing results allow the operating road builders to determine the required engineering and process solutions to ensure the reliability of superstructures and to predict the timing, works, and cost of repair and restoration during the specified service life.

Keywords: reliability; durability; failure-free operation; serviceability; superstructure; transport construction; operation strategies.

To cite this article:

Ogurtsov GL, Ermoshin NA, Ismailov AM. Taxonomic analysis in evaluating the superstructure operation strategy. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):396–408. doi: 10.17816/transsyst684014

ВВЕДЕНИЕ

Действующими нормативно-техническими документами предлагается обосновывать мероприятия по восстановлению и поддержанию работоспособного состояния пролетного строения, основываясь на вариантном проектировании. При этом основным показателем при осуществлении выбора является стоимость выполняемых работ при удовлетворении усредненных требований, установленных нормативными документами технического регулирования. Однако данный подход в условиях вероятностного характера условий проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений не всегда обеспечивает требуемые показатели эксплуатационной надежности технических и технологических решений по обеспечению работоспособного состояния пролетных строений [1, 2]. Причиной этому является отсутствие возможности нормативного подхода учитывать флуктуации параметров конструкционных материалов и технологических процессов в пределах установленных норм. В особенности это касается ситуаций, когда характеристики материалов и технологических процессов находятся на уровне минимальных значений с точки зрения их качества.

В соответствии с этим выбор рациональных технических и технологических решений предлагается осуществлять, основываясь на таксономическом анализе вариантов стратегий эксплуатации. Естественно, решение должно приниматься на основе всевозможных сочетаний факторов обеспечения показателей эксплуатационной надежности. Таксономический анализ позволяет определить близкую к оптимальной стратегию эксплуатации пролетного строения мостового сооружения, основываясь на разнородных свойствах, таких как технико-экономические, организационные и социально-экономические [3, 4].

К основным показателям надежности пролетного строения в процессе эксплуатации относятся долговечность, безотказность и ремонтпригодность [5–7]. Данные показатели надежности можно декомпозировать на более простые исчисляемые признаки, такие как гамма-процентный срок службы, вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ, определяемые по группам предельных состояний, а также время простоя, которое зависит от применяемых технических и технологических решений. Поскольку выходные параметры системы пролетного строения являются многомерными случайными величинами, то установление их количественных характеристик рационально выполнить с помощью имитационного моделирования [8–10] для каждого технического и технологического решения и их сочетаний.

Неудовлетворительное техническое состояние пролетного строения мостового сооружения может быть вызвано недостаточным или ограниченным финансированием [11, 12], а также проблемами, связанными с отсутствием в нормативно-технической документации методов и методик прогнозирования технического состояния и накопления дефектов. Оценка технического состояния пролетного строения и выявление необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ осуществляется в процессе эксплуатации по результатам технического обследования. При неудовлетворительных результатах эксплуатирующей дорожной организацией вводятся ограничения

транспортно-эксплуатационных характеристик участка автомобильной дороги, а восстановление потребительских свойств происходит через некоторое время, когда будет сформирован бюджет на выполнение ремонтно-восстановительных работ. В процессе эксплуатации пролетного строения с ограниченными транспортно-эксплуатационными характеристиками увеличивается интенсивность накопления дефектов пролетного строения, что может привести к его частичному и полному отказам. Следовательно, при выборе стратегии эксплуатации помимо значений показателей надежности следует определять экономичность технических и технологических решений (Рис. 1). Экономичность выражается через общие затраты на содержание пролетного строения, которые возможно прогнозировать с учетом дисконтирования начальной стоимости к моменту производства работ.

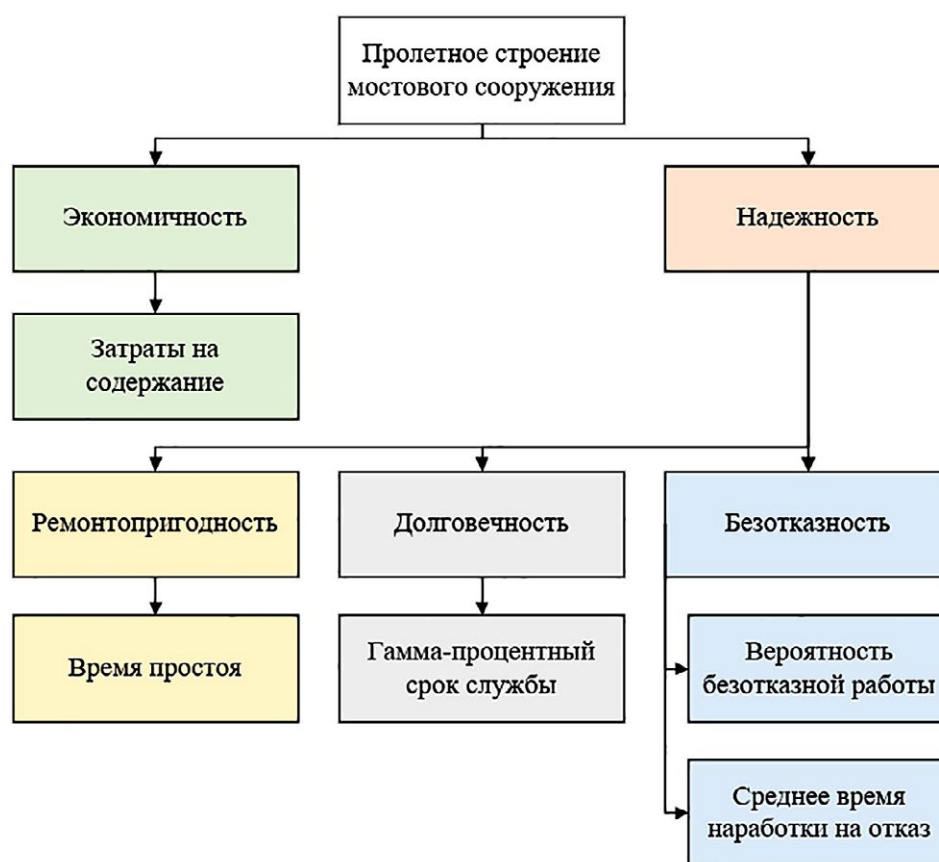


Рис. 1. Дерево признаков пролетного строения

Fig. 1. Tree of superstructure attributes

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Сущность таксономического анализа состоит в определении расстояний между признаками транспортно-эксплуатационного состояния двух сравниваемых объектов – представленным в выборке для конкретного эксплуатируемого сооружения и эталоном [13]. В качестве эталона принимается многомерное пространство, параметры координат которого

по транспортно-эксплуатационному состоянию соответствуют наилучшим значениям показателей эксплуатационной надежности технических и технологических решений. В соответствии с указанным обстоятельством чем меньше расстояния между сравниваемыми значениями показателей у конкретного объекта и эталона, тем более близки свойства этих объектов.

Для практической реализации предлагаемого метода выборку основных признаков вариантов стратегий эксплуатации пролетного строения необходимо представить в виде матрицы:

$$X = \|X_{ij}\|, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где n и m – число стратегий эксплуатации в выборке и признаков каждого технического и технологического решения, соответственно.

Поскольку значения величин признаков стратегий эксплуатации являются разноразмерными, то их необходимо преобразовать в безразмерные значения. Преобразование признаков к нормированным безразмерным значениям выполняется по следующей формуле:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{M}_j}{\sigma_j}, \quad (2)$$

где $\bar{M}_j$ и σ_j – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение признака, соответственно.

Определение координат эталонной стратегии эксплуатации в многомерном пространстве выполняется с учетом направленности векторов признаков, то есть стремления максимизировать или минимизировать значение. В связи с чем среди нормированных безразмерных значений признаков необходимо определить лучшие. Поиск координат эталонной стратегии эксплуатации выполняется согласно формуле:

$$Z_{0j} = \begin{cases} \max Z_{ij} \\ \min Z_{ij} \end{cases}, \quad (3)$$

где признаки классифицируются в соответствии с Табл. 1.

Расстояние от рассматриваемой стратегии эксплуатации до эталонной определяется согласно:

$$C_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(Z_{ij} - Z_{0j} \right)^2}. \quad (4)$$

Чем меньше значение C_i сравниваемой стратегии эксплуатации, тем ближе она располагается к эталону. Поскольку конкретное расстояние не представляет

Таблица 1. Признаки стратегии эксплуатации пролетного строения**Table 1.** Attributes of a superstructure operation strategy

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Классификация
Долговечность			
1	Гамма-процентный срок службы по ширине раскрытия трещин до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	Максимизируется
2	Гамма-процентный срок службы по вертикальным перемещениям до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	
3	Гамма-процентный срок службы по несущей способности до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	
Безотказность			
4	Вероятность безотказной работы по ширине раскрытия трещин на 100 год эксплуатации	-	Максимизируется
5	Вероятность безотказной работы по вертикальным перемещениям на 100 год эксплуатации	-	
6	Вероятность безотказной работы по несущей способности на 100 год эксплуатации	-	
7	Среднее время наработки на отказ по ширине раскрытия трещин до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	Максимизируется
8	Среднее время наработки на отказ по вертикальным перемещениям до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	
9	Среднее время наработки на отказ по несущей способности до проведения ремонтно-восстановительных работ	лет	
Ремонтопригодность			
10	Время простоя	лет	Минимизируется
Экономичность			
11	Суммарная стоимость выполнения работ	руб.	Минимизируется

однозначной характеристики степени удаленности от эталонной стратегии, то требуется определить нормировку расстояния. Нормированное расстояние вычисляется по формуле:

$$D_i = \frac{C_i}{C_{\max}}, \quad (5)$$

где $C_{\max}$ – максимально возможное расстояние, вычисляемое по правилу «трех сигм».

Оптимальной стратегией эксплуатации в выборке является та, у которой достигается максимальное значение уровня подобия. Значение уровня подобия вычисляется по формуле:

$$m_{onm} = \arg \max (1 - D_i). \quad (6)$$

Суммарная стоимость выполнения работ определяется для каждой стратегии эксплуатации с учетом времени проведения работ и включает в себя стоимости работ для периода превентивных мер и периода преждевременных отказов. В течение периода превентивных мер выполняется комплекс технико-технологических решений, препятствующих коррозии арматуры, т.е. окраска открытых бетонных поверхностей и замена пораженного атмосферными газами защитного слоя бетона [14–16]. В случае, когда окончание периода превентивных мер оказывается меньше расчетного срока службы, то по его окончанию применяются мероприятия, повышающие прочностные и деформационные характеристики главных балок пролетного строения, такие как устройство внешнего армирования и устройство дублирующих элементов.

Затраты для стратегии эксплуатации с учетом индексации в течение срока службы пролетного строения определяются согласно формуле:

$$C_{PBP} = \sum_{j=1}^m \frac{IC_t}{(1+i)^t} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где IC_t – стоимость выполнения работ в момент времени t ; i – ставка дисконтирования (расчет ставки дисконтирования выполняется по известной модели оценки капитальных активов CAPM).

Момент времени проведения таких работ принимается равным гамма-процентному сроку службы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта апробации выбрано железобетонное пролетное строение, расположенное в г. Санкт-Петербург. Входными параметрами при проведении имитационного моделирования являются внешние факторы окружающей среды, конструктивно-технологические характеристики главных балок пролетного строения и транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильной дороги, а именно: температура и влажность окружающей среды, количество дней в году с осадками более 2,5 мм, предел прочности бетона на одноосное сжатие, площадь поперечного сечения арматуры, предел прочности арматуры, модуль упругости арматуры, содержание цемента в бетоне, содержание воды в бетоне, начальный коэффициент диффузии углекислого газа, содержание углекислого газа в атмосфере, начальный коэффициент диффузии ионов хлорида, концентрация хлоридов на поверхности бетона защитного слоя, состав и интенсивность транспортных средств.

Показатели долговечности и безотказности пролетного строения определены на основании имитационного моделирования работы главных балок с учетом его структурной схемы надежности для каждого технико-технологического решения. В течение периода превентивных мер рассмотрены следующие стратегии эксплуатации:

1. без применения мероприятий по защите;
2. окрашивание открытых бетонных поверхностей на нулевом, 25 и 50 годах эксплуатации;
3. замена защитного слоя толщиной 40 мм на 30 и 60 годах эксплуатации;
4. комбинированный подход, включающий в себя окрашивание открытых бетонных поверхностей на нулевом году, и замена защитного слоя толщиной 42 мм на 64 году эксплуатации с последующим окрашиванием.

Для каждой стратегии эксплуатации определены статические характеристики и установлены аппроксимирующие функции распределения времени наработки на отказ пролетного строения. На основании установленных зависимостей получены средние и гамма-процентные сроки службы (Табл. 2), которые свидетельствуют о том, что применение превентивных мероприятий недостаточно для обеспечения работоспособного состояния пролетного строения в течение заданного срока эксплуатации.

Таблица 2. Средний и гамма-процентный сроки службы для превентивного периода времени

Table 2. Average and gamma-percentile service life for a preventive period

Механизм разрушения	Номер стратегии эксплуатации для периода превентивных мер:			
	1	2	3	4
Средний срок службы, лет				
По ширине раскрытия трещин	76,22	82,88	83,37	82,71
По вертикальным перемещениям	73,77	79,62	80,14	80,90
По несущей способности	81,51	91,75	91,57	90,95
Гамма-процентный срок службы, лет				
По ширине раскрытия трещин	70,31	75,31	75,41	74,70
По вертикальным перемещениям	68,29	73,34	72,79	73,84
По несущей способности	75,33	82,00	81,91	80,98

Для обеспечения расчетного срока службы необходимо применение мероприятий, повышающих прочностные и деформационные характеристики главных балок пролетного строения, таких как:

1. устройство внешнего армирования из металлических уголков;
2. устройство внешнего армирования из углепластиковых ламелей;

3. устройство внешнего армирования из напрягаемых канатов;
4. устройство дублирующих элементов главных балок.

Вероятности безотказной работы для расчетного срока эксплуатации (100 лет) определены методом Монте-Карло по установленным механизмам разрушения пролетного строения для каждого сочетания технических и технологических решений (Табл. 3).

Таблица 3. Вероятность безотказной работы пролетного строения на 100 год эксплуатации

Table 3. Probability of failure-free operation of the superstructure at operation year 100

Номер стратегии эксплуатации	Механизм разрушения		
	По ширине раскрытия трещин	По вертикальным перемещениям	По несущей способности
1.1	0,989	0,518	0,999
1.2	0,196	0,008	0,999
1.3	0,999	0,492	0,999
1.4	0,999	0,999	0,999
2.1	0,999	0,899	0,999
2.2	0,848	0,328	0,999
2.3	0,999	0,999	0,999
2.4	0,999	0,999	0,999
3.1	0,999	0,874	0,999
3.2	0,846	0,329	0,999
3.3	0,999	0,999	0,999
3.4	0,999	0,999	0,999
4.1	0,999	0,888	0,999
4.2	0,860	0,382	0,999
4.3	0,999	0,999	0,999
4.4	0,999	0,999	0,999

Расчет затраты на содержание пролетного строения и времени простоя выполнено в соответствии с федеральными сметными нормативами для каждого вида работ. Затраты на содержание пролетного строения вычислены с учетом ставки дисконтирования по формуле (7) на момент производства работ, принятый равным гамма-процентным срокам службы.

Результаты таксономического анализа (Табл. 4) позволяют сделать вывод о том, что оптимальной стратегией эксплуатации пролетного строения является замена защитного слоя толщиной 40 мм на 30 и 60 гт с последующим устройством внешнего армирования из напрягаемых канатов на 81 г.

Таблица 4. *Результаты таксономического анализа***Table 4.** *Taxonomic analysis*

Номер стратегии эксплуатации	Уровень развития для стратегии	Ранг
1.1	0,346	13
1.2	0,175	16
1.3	0,343	14
1.4	0,310	15
2.1	0,725	7
2.2	0,658	10
2.3	0,727	6
2.4	0,616	12
3.1	0,849	2
3.2	0,748	3
3.3	0,854	1
3.4	0,693	8
4.1	0,730	5
4.2	0,675	9
4.3	0,732	4
4.4	0,620	11

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение таксономического анализа совместно с имитационным моделированием позволяет определить оптимальное сочетание технических и технологических решений по обеспечению показателей эксплуатационной надежности пролетных строений мостового сооружения и транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильной дороги, на которой оно расположено, а также прогнозировать сроки, состав и стоимость ремонтно-восстановительных работ в течение требуемого срока службы. На основании результатов имитационного моделирования работы пролетного строения, выполнена апробация таксономического анализа технических и технологических решений для железобетонного мостового сооружения, расположенного в Санкт-Петербурге, и определены требуемые мероприятия по обеспечению показателей эксплуатационной надежности.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелёхин В.Б., Магдиев А.Ш. Методологические основы оценки качества строительной продукции // Вестник евразийской науки. 2014. №. 4(23). С. 114. EDN: TCFNOB
2. Спиридонов Э.С., Духовный Г.С., Логвиненко А.А. и др. Научные подходы к оценке качества продукции строительства транспортных объектов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. №. 2. С. 113–116. EDN: KWCYKL
3. Махутов Н.А., Резников Д.О. Комплексный анализ прочности и безопасности потенциально опасных объектов с учетом неопределенностей // Надежность. 2020. № 1. С. 47–56. doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-1-47-56 EDN: BZBQMC
4. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Алексеев А.А. К вопросу надежности несущих балок пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25, №. 6. С. 183–195. doi: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-183-195 EDN: ХАСQYX
5. Кошелева Ж.В., Михалевич Н.В. Расчет надежности пролетного железобетонного моста в период эксплуатации // Эффективные строительные конструкции: теория и практика. 2021. С. 71–75.
6. Ахмедов Ш.Б., Алменов Х., Шожалилов Ш.Ш. и др. Оценка сроков службы конструкций пролетных строений при прогнозировании долговечности железобетонных мостов // Научный журнал транспортных средств и дорог. 2021. Т. 1, №. 4. С. 6–8.
7. Морозова Л.Н., Пархоменко В.В. Определение долговечности железобетонных автодорожных мостов // Вести Автомобильно-дорожного института. 2022. Т. 40, №. 1. С. 41–45. EDN: OVJDYN
8. Ахмедов Р.М., Махмудов О. Методы планирования и управление ремонтом мостов // Экономика и социум. 2021. Т. 90, №. 11-1. С. 774–788. EDN: QVNNIG
9. Огурцов Г.Л., Ермошин Н.А., Бирюков О.Р. Применение имитационного моделирования для оценки долговечности балок пролетного строения железобетонных мостов // Вестник СГУПС. 2025. Т. 73, № 1. С. 104–113. doi: 10.52170/1815-9265_2025_73_104
10. Li C.Q., Ian Mackie R., Lawanwisut W. A risk-cost optimized maintenance strategy for corrosion-affected concrete structures // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2007. Vol. 22, N. 5. P. 335–346. doi: 10.1111/j.1467-8667.2007.00490.x
11. Артюхов А.А. Анализ деятельности администрации ленинского района города Екатеринбург по благоустройству территории // ГОСРЕГ: Государственное регулирование общественных отношений. 2022. Т. 40, №. 2. С. 120–126. EDN: KXYXUX
12. Гулицкая Л.В., Шиманская О.С. Актуальные проблемы эксплуатации железобетонных плитных мостовых сооружений. В кн.: XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, г. Минск, 12-16 декабря 2022 г. Минск: БНТУ 2023. С. 108–110. EDN ENNCUY

13. Гулай, А.В., Зайцев В.М. Синтез таксономической схемы для идентификации состояний сложных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2019. № 2. С. 84–90. doi: 10.14357/20718594190208 EDN: ZXFVCSJ
14. Ахроров Ш.А.У., Овчинников И.И. Повышение долговечности железобетонных мостовых сооружений (первичная и вторичная защита) // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, №. 3. С. 21. EDN: CSWOIQ
15. Bastidas-Arteaga E., Schoefs F., Chateauneuf A. et al. Probabilistic evaluation of the sustainability of maintenance strategies for RC structures exposed to chloride ingress // International Journal of Engineering Under Uncertainty: Hazards, Assessment and Mitigation. 2010. Vol. 2, N. 1-2. P. 61–74.
16. Bastidas-Arteaga E. Contribution for sustainable management of reinforced concrete structures subject to chloride penetration. [dissertation]. Nantes, 2010.

REFERENCES

1. Melehin VB, Magdiev ASh. Methodological foundations for assessing the quality of construction products. *Bulletin of Eurasian Science*. 2014;4(23):114. (In Russ) EDN: TCFNOB
2. Spiridonov ES, Dukhovny GS, Logvinenko AA, et al. Scientific approaches to assessing the quality of products for the construction of transport facilities. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2009;2:113–116. (In Russ.) EDN: KWCYKL
3. Makhutov NA, Reznikov DO. Comprehensive analysis of the strength and safety of potentially hazardous facilities subject to uncertainties. *Dependability*. 2020;20(1): 47–56. (In Russ.) doi: 10.21683/1729-2646-2020-20-1-47-56 EDN: BZBQMC
4. Kartopoltsev VM, Kartopoltsev AV, Alekseev AA. Towards reliability of load-bearing beams of bridges (Tomsk). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. JOURNAL of Construction and Architecture*. 2023;25(6):183–195. (In Russ.) doi: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-183-195 EDN: XACQYX
5. Kosheleva ZhV, Mikhalevich NV. Calculation of the reliability of a reinforced concrete span bridge during operation. *Effective building structures: theory and practice*. 2021:71–75. (In Russ.)
6. Akhmedov ShB, Almenov H, Shozhalilov ShSh, et al. Assessment of the service life of superstructure structures when predicting the durability of reinforced concrete bridges. *Scientific Journal of Transport Vehicles and Roads*. 2021;1(4):6–8. (In Russ.)
7. Morozova LN, Parkhomenko VV. Determination of the durability of reinforced concrete road bridges. *News of the Automobile and Road Institute*. 2022;1(40):41–45. (In Russ.) EDN: OVJDYN
8. Akhmedov RM, Makhmudov O. Methods of planning and management of bridge repairs. *Economy and Society*. 2021;11-1(90):774–788. (In Russ.) EDN: QVNNIG
9. Ogurtsov GL, Ermoshin NA, Biryukov OR. The algorithm of the simulation model implementation and the simulation results. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2025;(73):104–113. (In Russ.). doi: 10.52170/1815-9265_2025_73_104

10. Li CQ, Ian Mackie R, Lawanwisut W. A risk-cost optimized maintenance strategy for corrosion-affected concrete structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2007;5(22):335–346. doi: 10.1111/j.1467-8667.2007.00490.x
11. Artyukhov AA. Analysis of the activities of the administration of the Leninsky district of the city of Yekaterinburg on the improvement of the territory. *GOSREG: State regulation of public relations*. 2022;2(40):120–126. (In Russ.) EDN: KXYXUX
12. Gulitskaya LV, Shimanskaya OS. Actual problems of operation of reinforced concrete slab bridge structures. In: *XI Forum of Universities of Engineering and Technology Profile of the Union State: collection of materials, Minsk, December 12-16, 2022 / Belarusian National Technical University*. Minsk: BNTU. 2023:108–110. (In Russ.) EDN: ENNCUY
13. Gulai AV, Zaitsev VM. Synthesis of a taxonomic scheme for identifying the states of complex systems. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2019;2:84–90. (In Russ.) doi: 10.14357/20718594190208 EDN: ZXFVCJ
14. Akhrorov ShAU, Ovchinnikov II. Increasing the durability of reinforced concrete bridge structures (primary and secondary protection). *Bulletin of Eurasian Science*. 2022.3(14):21. (In Russ.) EDN: CSWOIQ
15. Bastidas-Arteaga E, Schoefs F, Chateauneuf A, et al. Probabilistic evaluation of the sustainability of maintenance strategies for RC structures exposed to chloride ingress. *International Journal of Engineering Under Uncertainty: Hazards, Assessment and Mitigation*. 2010;1-2(2):61–74.
16. Bastidas-Arteaga E. *Contribution for sustainable management of reinforced concrete structures subject to chloride penetration* [dissertation] Nantes; 2010.

Сведения об авторах:

Огурцов Глеб Леонидович, ассистент;

eLibrary SPIN: 1150-8781; ORCID: 0000-0002-5183-7420;

E-mail: gлеб_1_ог@mail.ru

Ермошин Николай Алексеевич, д-р воен. наук, профессор;

eLibrary SPIN: 6694-8297; ORCID: 0000-0002-0367-5375;

E-mail: ermonata@mail.ru

Исмаилов Алексей Марленович, канд. техн. наук, доцент;

eLibrary SPIN: 1929-1225; ORCID: 0000-0001-9325-2335;

E-mail: ismailov-aleksei@mail.ru

Information about the authors:

Gleb L. Ogurtsov, assistant

eLibrary SPIN: 1150-8781; ORCID: 0000-0002-5183-7420;

E-mail: gлеб_1_ог@mail.ru

Nikolaj A. Ermoshin, Dr. Sci. (Military), professor;

eLibrary SPIN: 6694-8297; ORCID: 0000-0002-0367-5375;

E-mail: ermonata@mail.ru

Aleksei M. Ismailov, Cand. Sci. (Engineering), associate professor;

eLibrary SPIN: 1929-1225; ORCID: 0000-0001-9325-2335;

E-mail: ismailov-aleksei@mail.ru

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Электротехнология и электрофизика

DOI 10.17816/transsyst687274

© Д.А. Александров, И.В. Мартиросян, Е.А. Веницкий,

М.А. Осипов, С.В. Покровский

Национальный Исследовательский Ядерный Университет

(Москва, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ТОРОИДАЛЬНОГО ПОЛЯ ТОКАМАКА НА ОСНОВЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

Цель. Определение рабочих параметров системы тороидального магнитного поля (рабочая температура, количество CORC-кабелей, величина транспортного тока) сверхпроводящего токамака MEPhIST-1.

Материалы и методы. Численный расчет тороидального магнитного поля токамака выполнен в среде моделирования COMSOL Multiphysics.

Результаты. Получены распределения магнитного поля для различных значений транспортного тока, протекающего через катушку токамака. Определены коэффициенты пропорциональности между максимальным магнитным полем на катушке и транспортным током, рабочим магнитным полем и рабочим транспортным током.

Заключение. Определено число CORC-кабелей для достижения рабочей величины индукции магнитного поля в 1 Тл: 7 при температуре в 37,6 К и 6 при температуре в 33,6 К. Показано, что возможно достижение значений рабочего поля порядка 1,5 Тл на 7 CORC-кабелях при понижении температуры до 21,1 К.

Ключевые слова: ВТСП композиты; численное моделирование; токамак; CORC-кабель.

Как цитировать:

Александров Д.А., Мартиросян И.В., Веницкий Е.А., Осипов М.А., Покровский С.В. Определение рабочих параметров катушек тороидального поля токамака на основе высокотемпературного сверхпроводника // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 409–421. doi: 10.17816/transsyst687274

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Subject – Electrotechnology and Electrophysics

© D.A. Aleksandrov, I.V. Martirosian, E.A. Vinitskiy, M.A. Osipov,
S.V. PokrovskiiNational research nuclear university
(Moscow, Russia)**DETERMINING THE OPERATING PARAMETERS
OF TOROIDAL FIELD COILS OF TOKAMAK BASED
ON HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR**

AIM: The work aimed to determine the operating parameters of the toroidal magnetic field system (operating temperature, number of CORC cables, and transport current) of the MEPhIST-1 superconducting tokamak.

METHODS: Numerical calculation of the toroidal magnetic field of the tokamak was performed in the COMSOL Multiphysics modeling environment.

RESULTS: Magnetic field distributions for different transport currents flowing through the tokamak coil were obtained. The study determined proportionality constants for the strongest magnetic field on the coil and the transport current, the operating magnetic field and the operating transport current.

CONCLUSION: The study determined the number of CORC cables required to achieve the operating induction of 1 T (7 at a temperature of 37.6 K and 6 at a temperature of 33.6 K). The study showed that it is possible to achieve operating field values of about 1.5 T using 7 CORC cables by reducing the temperature to 21.1 K.

Keywords: HTS composites; numerical simulation; tokamak; CORC cable.

To cite this paper:

Aleksandrov DA, Martirosian IV, Vinitskiy EA, Osipov MA, Pokrovskii SV. Determining the operating parameters of toroidal field coils of tokamak based on high-temperature superconductor. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):409–421. doi: 10.17816/transsyst687274

ВВЕДЕНИЕ

В условиях растущего энергетического спроса и необходимости снижения антропогенного воздействия на климат планеты, особое внимание уделяется разработке экологически чистых и высокоэффективных источников энергии. Термоядерный синтез представляет собой один из наиболее перспективных вариантов долгосрочного энергоснабжения, способных обеспечить как энергетическую безопасность, так и минимальное воздействие на окружающую среду. Термоядерные источники энергии потенциально могут стать основным источником энергии электрического транспорта будущего – от электромобилей до высокоскоростных поездов и авиации [1, 2].

Система тороидального магнитного поля по-прежнему остается неотъемлемой частью установок термоядерного синтеза, отвечая за генерацию магнитного поля, необходимого для обеспечения стабильности и формирования плазмы. По мере наращивания усилий по реализации практического использования энергии термоядерного синтеза, были предприняты значительные шаги в разработке сверхпроводящих систем тороидального поля. В последнее время крупномасштабные токамаки с низкотемпературными сверхпроводниками (НТСП), такие как EAST [3] и KSTAR [4], показали возможность работы в режиме длительных импульсов и высокой производительности плазмы. В настоящее время концептуальные компактные токамаки, такие как SPARC, способствуют росту интереса к конструкциям с высоким магнитным полем, которые стали возможными благодаря высокотемпературным сверхпроводникам (ВТСП) [5]. Переход от НТСП к ВТСП, является важным шагом в достижении более высоких рабочих полей и улучшении тепловой стабильности. Такие исследования, как работа [6], подчеркнули превосходство ВТСП лент в сильных магнитных полях. Так называемые CORC-кабели (от coated conductor on round core – покрытая проводящая лента на круглой жиле), состоящие из спирально намотанных ВТСП лент, стали перспективными кандидатами для тороидальных магнитных систем, используемых в термоядерных реакторах, благодаря своей механической прочности и простоте намотки в сложные геометрические формы. В частности, ленты SuperOx 12 мм REBCO, характеризующиеся высокими критическими характеристиками (критический ток превышает 500 А при 20 Т и 4,2 К), были тщательно охарактеризованы и приняты в экспериментальных и концептуальных магнитных системах [7].

Целью настоящей работы является определение рабочих параметров системы тороидального магнитного поля (рабочая температура, количество CORC-кабелей, величина транспортного тока) сверхпроводящего токамака MEPhIST-1 для достижения величины индукции магнитного поля в рабочей зоне в 1 Тл. Повышение тороидального магнитного поля в токамаке способствует улучшению удержания и увеличению плотности термоядерной мощности $P_{fus} \sim B^4$ [8]. Помимо этого, увеличение тороидального поля приводит к повышению устойчивости плазмы к различным возмущениям [9]. В настоящей работе рассмотрена непрерывная конфигурация катушки тороидального поля.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОРОИДАЛЬНОЙ КАТУШКИ

В настоящее время ведется проектирование токамака MEPhIST-1 – усовершенствованной версии установки MEPhIST-0 [10]. Одной из ключевых задач при разработке является создание системы тороидального магнитного поля (СТМП). По аналогии с токамаком MEPhIST-0 для MEPhIST-1 было принято решение использовать катушку в виде неразрывного тороидального соленоида [11, 12], в котором один виток на внутреннем обходе плавно переходит в следующий. В качестве поперечного (полоидального) сечения катушки выбрано классическое оптимальное D-образное сечение [13, 14], обеспечивающее как высокую механическую прочность, так и эффективное накопление магнитной

энергии. Полоидальное сечение тороидальной катушки представлено на Рис. 1а. Угол поворота тороидальной катушки был рассчитан из условия минимизации вертикальных и радиальных компонентов магнитного поля, препятствующих формированию и удержанию плазменного шнура. На Рис. 1b показана линия тока для выбранного полоидального сечения катушки токамака МЕРPhIST-1. Метод расчета формы тороидальной катушки подробно изложен в работе [15].

Внешний вид предполагаемой криомагнитной системы тороидального поля токамака представлен на Рис. 2. В качестве основного токнесущего элемента предлагается использование CORC-кабеля. Подробно конструкция кабеля описана, например, в работе [16]. Рассмотрен вариант исполнения кабеля из 50 ВТСП-лент шириной 4 мм, намотанных на полую мельхиоровую трубку, внутри которой осуществляется прокачка жидкого хладагента для охлаждения сверхпроводника до рабочих температур. Внешний диаметр одного кабеля составляет 10,6 мм. Основным фактором, определяющим максимальное количество CORC-кабелей в одной катушке, является тот факт, что пространство между индуктором и внутренней камерой токамака ограничено. С учетом этих ограничений, максимально возможное количество CORC-кабелей – 7 штук (Рис. 2).

ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

Расчет тороидального магнитного поля токамака выполнен с использованием метода конечных элементов в программном пакете COMSOL Multiphysics. Расчет выполняется с использованием Н-формулировки нестационарных уравнений

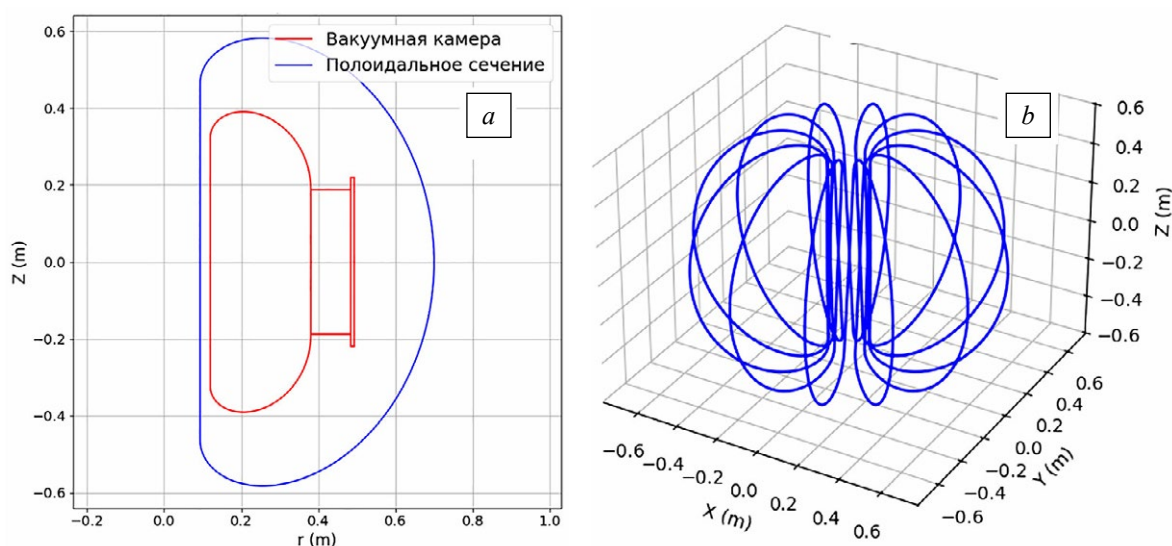


Рис. 1. (a) – Полоидальное сечение тороидальной катушки для токамака МИФИСТ-1, внутренний радиус $R_1 = 93$ мм, внешний радиус $R_2 = 0,7$ м; (b) – линия тока для тороидального неразрывного соленоида для токамака МИФИСТ-1

Fig. 1. (a) – Cross section of the toroidal coil for the MIFIST-1 tokamak, inner radius = 93 mm, outer radius = 0.7 m; (b) – Current line for the toroidal continuous solenoid for the MIFIST-1 tokamak

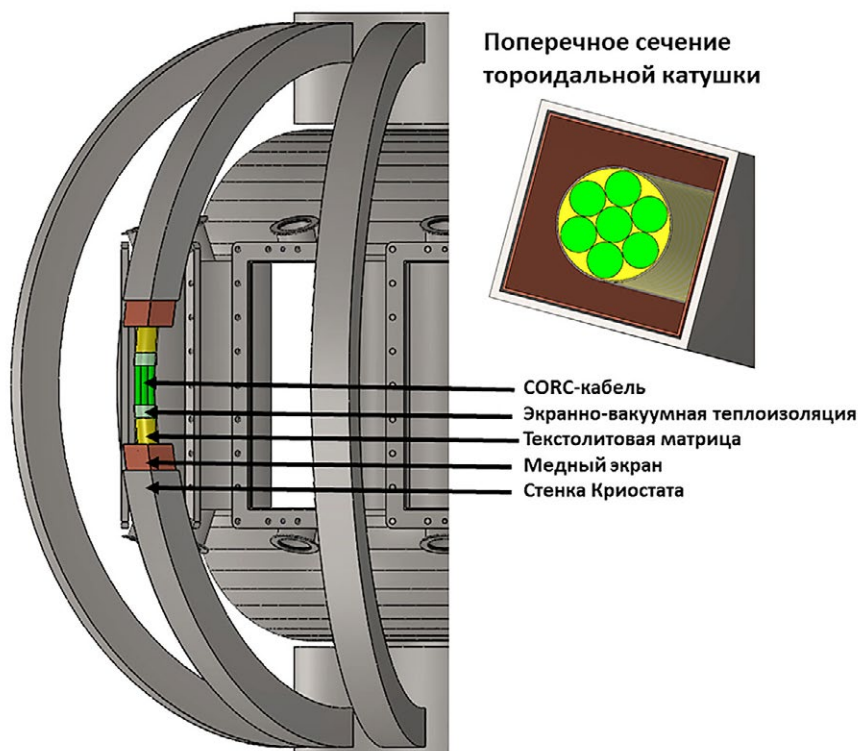


Рис. 2. Внешний вид криомагнитной системы тороидального поля токамака

Fig. 2. External view of the cryomagnetic system of the toroidal magnetic field of the tokamak

Максвелла. Разработанная модель ранее применялась для численного анализа индуктивного накопителя энергии основе ВТСП лент, подробное описание численной модели приведено в работе [17]. Вольтамперная характеристика сверхпроводника задается в виде степенного закона для нелинейной зависимости сопротивления от плотности тока:

$$\rho = \frac{E_c}{J_c} \left(\frac{|J|}{J_c} \right)^n, \quad (1)$$

где E_c – критерий, принятый равным 1 мкВ/см, J_c – критическая плотность тока, n – показатель степени, характеризующий крутизну ВАХ сверхпроводника.

Плотность тока J в сверхпроводнике определяется на основе решения нестационарных уравнений Максвелла, а критическая плотность тока J_c зависит от величины магнитного поля B и температуры T , как:

$$J_c(B, T) = L(B, T) \cdot J_{c0}, \quad (2)$$

где $L(B, T)$ – лифт-фактор критического тока, J_{c0} – критическая плотность тока ВТСП лент в собственном поле при температуре кипения жидкого азота 77,4 К.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения рабочих параметров токамака была проведена оценка максимального рабочего поля токамака в рабочей точке – 0,25 м от оси симметрии токамака. Расчеты были проведены для температур в диапазоне 10-77,5 градусов Кельвина, для различного числа CORC-кабелей (от 1-го до 7-ми). При расчетах использовались данные по критическим характеристикам ВТСП-ленты производства компании С-Инновации [7]. По полученным данным была вычислена зависимость лифт-фактора $L_q(B, T)$ от температуры и приложенного магнитного поля, которая показывает отношение критического тока ленты при заданных значениях магнитного поля и температуры к критическому току в нулевом внешнем магнитном поле при температуре кипения жидкого азота. Следует отметить, что в работе представлены только данные от 15 до 80 К и в полях до 8 Тл, поэтому данные вне этого диапазона были получены при помощи интерполяции и имеют низкую точность.

По полученным данным для разного числа CORC-кабелей в катушке (т.е. для 3, 4, 5, 6, 7) были рассчитаны зависимости максимального транспортного тока через сборку CORC-кабелей от поля для различных температур. Максимальный транспортный ток через сборку, рассчитывался согласно выражению (3):

$$I_c(B, T) = L_q(B, T) \cdot N \cdot N2 \cdot I_{0c}, \quad (3)$$

где $L_q(B, T)$ – лифт фактор, N – число CORC-кабелей, $N2$ – число лент в одном кабеле (50 лент), I_{0c} – критический ток 4 мм ленты в азоте в собственном поле. На данный момент значения критического тока могут достигать 200А, поэтому, с учетом запаса в 20%, I_{0c} полагался равным 160 А.

Пример рассчитанных зависимостей для сборки из 7 CORC-кабелей представлен на Рис. 3.

Для определения рабочих параметров токамака были численно рассчитаны распределения магнитного поля на катушке и в полоидальном сечении при пропускаемом через катушку транспортном токе величиной 10 кА. Результаты расчетов представлены на Рис. 4.

Из полученных распределений определены отношения величины индукции магнитного поля к току в рабочей точке (0,25 м от оси симметрии токамака) k_{min} и в точке с максимальным полем на катушке k_{max} ($k_{max} = 0,026$ Тл / кА, $k_{min} = 0,00957$ Тл / кА). На основе указанных данных была построена нагрузочная кривая магнита:

$$B_{max} = I \cdot k_{max}. \quad (4)$$

Уравнение (4) представляет собой зависимость максимального поля на обмотке B_{max} от транспортного тока I , пропускаемого через катушку. Эта зависимость представлена на Рис. 3 пунктирной линией. Пересечение кривой, определяемой уравнением (4), с кривой максимального тока через кабель

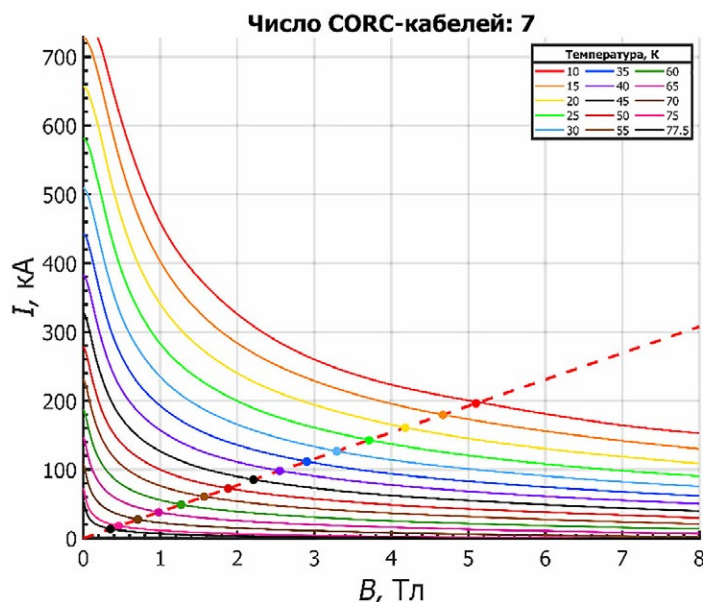


Рис. 3. Зависимости критического тока сборки CORC-кабелей от внешнего магнитного поля при разных температурах (пунктиром обозначена нагрузочная кривая магнита)

Fig. 3. Dependence of the critical current of CORC cable assemblies on the external magnetic field at different temperatures (the dotted line denotes the magnet load curve)

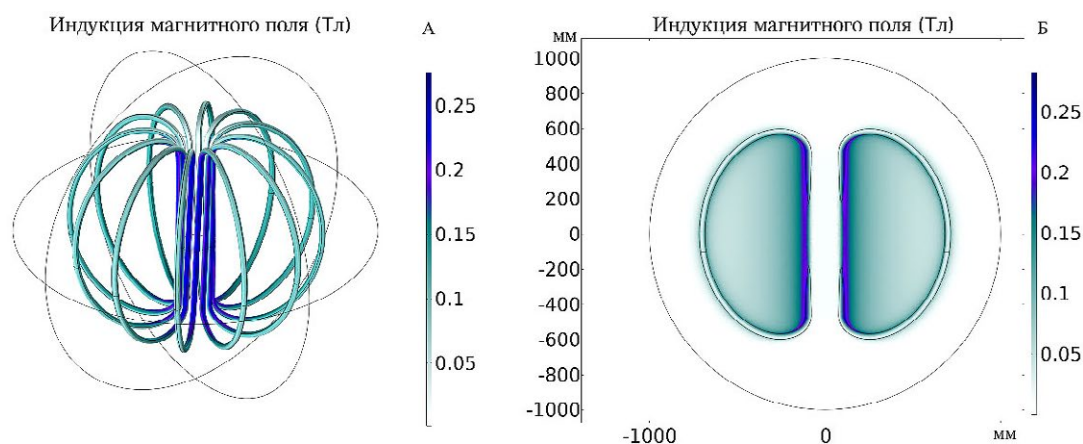


Рис. 4. Распределение магнитного поля. А – на катушке, Б – в полоидальном сечении
Fig. 4. Magnetic field distribution. А – on the coil, Б – in the poloidal cross section

от приложенного магнитного поля позволяет оценить величину рабочего значения тока $I_{\text{раб}}(T, N)$ через катушку для заданного значения температуры T и числа CORC-кабелей N . Используя рабочее значение тока, можно найти рабочее поле согласно следующей формуле:

$$B_{\text{раб}}(T, N) = I_{\text{раб}}(T, N) \cdot k_{\text{min}}. \quad (5)$$

Полученные данные показывают (Рис. 5), что значение рабочего поля в 1 Тл может быть достигнуто на 7 CORC-кабелях при температуре в 37,6 К и на 6 CORC-кабелях при температуре в 33,6 К. Эти значения температуры

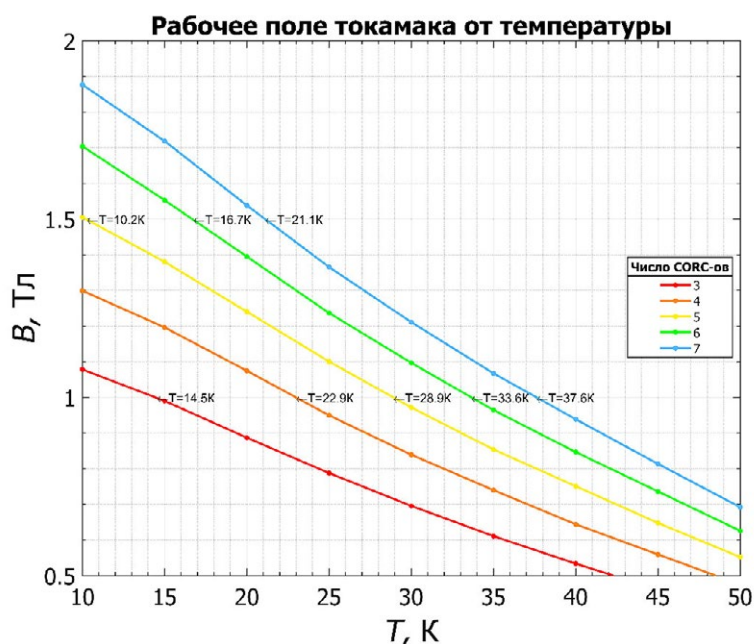


Рис. 5. Зависимость рабочего поля токамака от температуры для разных значений числа CORC-кабелей в тороидальной катушке

Fig. 5. Dependence of the operational field of the tokamak on temperature for different values of the number of CORC cables in the toroidal coil

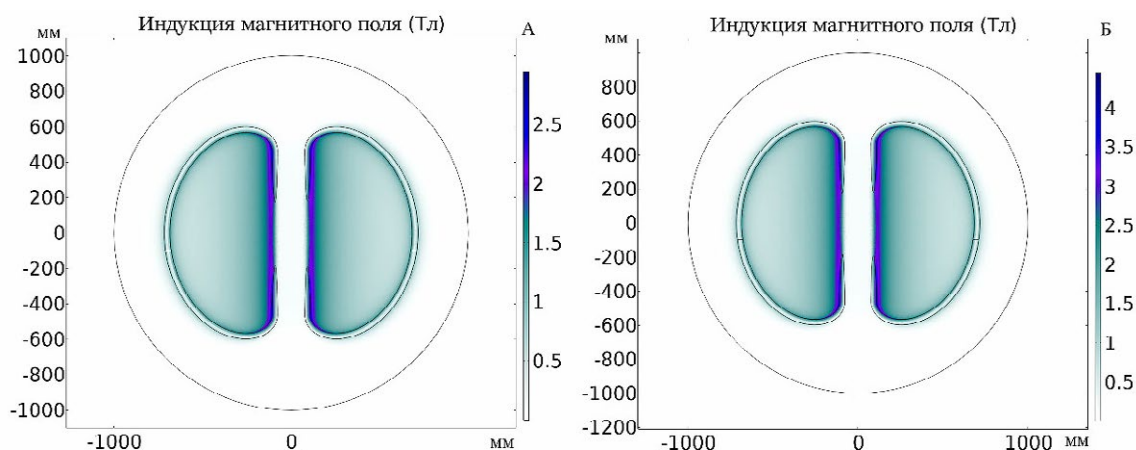


Рис. 6. Распределение магнитного поля в полоидальном сечении. А – для рабочего поля 1 Тл, Б – для рабочего поля 1,5 Тл

Fig. 6. Magnetic field distribution in the poloidal cross-section. A – for an operational field of 1 T, B – for an operational field of 1.5 T

могут быть достигнуты с использованием широко распространенных на рынке высокопроизводительных криорефрижераторов, позволяющих охлаждать рабочий жидкий или газообразный хладагент до температур порядка 30 К. Помимо этого, возможно достижение значений рабочего поля порядка 1,5 Тл на 7 CORC-кабелях при понижении температуры до 21,1 К. Распределения магнитного поля в полоидальном сечении для рабочих полей 1 Тл и 1,5 Тл представлены на Рис. 6а и 6б, соответственно. Суммарный транспортный ток через катушку, необходимый для достижения рабочего значения индукции магнитного поля, равен 104 кА и 157 кА, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлены результаты численного расчета магнитных характеристик системы тороидального поля сверхпроводящего токамака MEPhIST-1. Используя рассчитанные распределения магнитного поля, получены коэффициенты пропорциональности, связывающие максимальную величину магнитного поля на катушке и транспортный ток, а также рабочее магнитное поле и рабочий транспортный ток. Были рассчитаны зависимости критического тока сборки из различного количества CORC-кабелей от внешнего магнитного поля при различных значениях температуры и зависимость рабочего поля токамака от температуры для нескольких значений числа CORC-кабелей в сборке. Также были определены рабочие параметры данного токамака, а именно рабочая температура, величина рабочего транспортного тока и необходимое для достижения рабочего поля количество CORC-кабелей при различных рабочих температурах.

Рассчитанные коэффициенты пропорциональности для максимального поля на катушке и рабочего поля равны $k_{\max}=0,026$ Тл/кА и $k_{\min}=0,00957$ Тл/кА соответственно. Используя коэффициенты пропорциональности, получены зависимости рабочего поля токамака от температуры для нескольких значений числа CORC-кабелей в сборке. По этим зависимостям установлено, что значение рабочего поля в 1 Тл может быть достигнуто на сборке из 7 CORC-кабелей при температуре в 37,6 К и на сборке из 6 CORC-кабелей при температуре в 33,6 К. Указанные значения температуры могут быть достигнуты с использованием широкодоступных на рынке высокопроизводительных криорефрижераторов, позволяющих охлаждать рабочий жидкий или газообразный хладагент до температур порядка 30К. Помимо этого, возможно достижение значений рабочего поля порядка 1,5 Тл на сборке из 7 CORC-кабелей при понижении температуры до 21,1 К.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00749, <https://rscf.ru/project/24-29-00749/>.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Muehlich P., Hamacher T. Global transportation scenarios in the multi-regional EFDA-TIMES energy model // *Fusion Engineering and Design*. 2009. Vol. 84, N 7. P. 1361–1366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2008.12.016>
2. Lerede D., Saccone M., Bustreo C., et al. Could clean industrial progresses and the rise of electricity demand foster the penetration of nuclear fusion in the European energy mix? // *Fusion Engineering and Design*. 2021. Vol. 172, N. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112880> EDN: BNAQQO
3. Gao X., Zhang T., Wu M., et al. Recent results of fusion triple product on EAST tokamak // *Plasma Science and Technology*. 2021. Vol. 23, N 9. doi: 10.1088/2058-6272/ac1165 EDN: RCDXUP
4. Kim H.-S., Jeon Y., Han H., et al. Development of high-performance long-pulse discharge in KSTAR // *Nuclear Fusion*. 2024. Vol. 64, N 1. P. 016033. doi: 10.1088/1741-4326/ad0fbd EDN: YEFTYI
5. Creely A.J., Greenwald M.J., Ballinger S.B., et al. Overview of the SPARC tokamak // *Journal of Plasma Physics*. 2020. Vol. 86, N 5. doi: 10.1017/S0022377820001257 EDN: XOIYOH
6. Zhai Y., van der Laan D., Connolly P., Kessel C. Conceptual design of HTS magnets for fusion nuclear science facility // *Fusion Engineering and Design*. 2021. Vol. 168, N. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112611> EDN: RFOOXZ
7. Molodyk A., Samoilenov S., Markelov A., et al. Development and large volume production of extremely high current density YBa₂Cu₃O₇ superconducting wires for fusion // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, N 1. doi: 10.1038/s41598-021-81559-z EDN: FQXYLW
8. Federici G., Siccino M., Bachmann C., et al. Relationship between magnetic field and tokamak size—a system engineering perspective and implications to fusion development // *Nuclear Fusion*. 2024. Vol. 64, N 3. doi: 10.1088/1741-4326/ad2425 EDN: QJXQPS
9. Zohm H. On the Use of High Magnetic Field in Reactor Grade Tokamaks // *Journal of Fusion Energy*. 2019. Vol. 38, N 1. P. 3–10. doi: 10.1007/s10894-018-0177-y
10. Krat S., Prishvitsyn A., Alieva A., et al. MEPhIST-0 Tokamak for Education and Research // *Fusion Science and Technology*. 2023. Vol. 79, N 4. P. 446–464. doi: 10.1080/15361055.2022.2149033 EDN: ZIBZCH

11. Gryaznevich M., Asunta O. Overview and status of construction of ST40 // *Fusion Engineering and Design*. 2017. Vol. 123, N. P. 177–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2017.03.011> EDN: VDFVMW
12. Kuteev B.V., Azizov E.A., Bykov A.S., et al. Steady-state operation in compact tokamaks with copper coils // *Nuclear Fusion*. 2011. Vol. 51, N 7. doi: 10.1088/0029-5515/51/7/073013 EDN: MWVEXC
13. File J., Mills R.G., Sheffield G.V. Large Superconducting Magnet Designs for Fusion Reactors // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 1971. Vol. 18, N 4. P. 277–282. doi: 10.1109/TNS.1971.4326354
14. Shafranov V.D. Optimum Shape of a Toroidal Solenoid // *Soviet Physics Technical Physics*. 1973. Vol. 17. P. 1433.
15. Vinitskiy E.A., Ulasevich D.L., Prishvitsyn A.S., et al. Optimization of the Toroidal Magnetic Coil System for the Small Spherical Tokamak MEPhIST-0 // *Fusion Science and Technology*. 2025. Vol. 81, N 5. P. 485–494. doi: 10.1080/15361055.2024.2431782
16. Khodzhbagiyan H.G., Novikov M.S., Fisher E.Z., Shemchuk A.V. Concept of the High-Temperature Superconductor Magnetic System of the New Nuclotron Synchrotron // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2024. Vol. 21, N 1. P. 68–72. doi: 10.1134/S1547477124010060 EDN: GOFBTG
17. Alexandrov D.A., Martirosian I.V., Pokrovskii S.V., et al. Energy capacity and energy losses of inductive energy storage device based on composite HTS tapes // *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024. Vol. 10, N 2. P. 215–230. doi: <https://doi.org/10.17816/transsyst632274> EDN: LKEQVU

REFERENCES

1. Muehlich P, Hamacher T. Global transportation scenarios in the multi-regional EFDA-TIMES energy model. *Fusion Engineering and Design*. 2009;84(7):1361–1366. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2008.12.016>
2. Lerede D, Saccone M, Bustreo C, et al. Could clean industrial progresses and the rise of electricity demand foster the penetration of nuclear fusion in the European energy mix? *Fusion Engineering and Design*. 2021;172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112880> EDN: BNAQQO
3. Gao X, Zhang T, Wu M, et al. Recent results of fusion triple product on EAST tokamak. *Plasma Science and Technology*. 2021;23(9). doi: 10.1088/2058-6272/ac1165 EDN: RCDXUP
4. Kim H-S, Jeon Y, Han H, et al. Development of high-performance long-pulse discharge in KSTAR. *Nuclear Fusion*. 2024;64(1). doi: 10.1088/1741-4326/ad0fbd EDN: YEFTYI
5. Creely AJ, Greenwald MJ, Ballinger SB, et al. Overview of the SPARC tokamak. *Journal of Plasma Physics*. 2020;86(5). doi: 10.1017/S0022377820001257 EDN: XOIYOH
6. Zhai Y, van der Laan D, Connolly P, Kessel C. Conceptual design of HTS magnets for fusion nuclear science facility. *Fusion Engineering and Design*. 2021;168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112611> EDN: RFOOXZ

7. Molodyk A, Samoilenkov S, Markelov A, et al. Development and large volume production of extremely high current density YBa₂Cu₃O₇ superconducting wires for fusion. *Scientific Reports*. 2021;11(1):2084. doi: 10.1038/s41598-021-81559-z EDN: FQXYLW
8. Federici G, Siccino M, Bachmann C, et al. Relationship between magnetic field and tokamak size—a system engineering perspective and implications to fusion development. *Nuclear Fusion*. 2024;64(3):036025. doi: 10.1088/1741-4326/ad2425 EDN: QJXQPS
9. Zohm H. On the Use of High Magnetic Field in Reactor Grade Tokamaks. *Journal of Fusion Energy*. 2019;38(1):3–10. doi: 10.1007/s10894-018-0177-y
10. Krat S, Prishvitsyn A, Alieva A, et al. MPhIST-0 Tokamak for Education and Research. *Fusion Science and Technology*. 2023;79(4):446–464. doi: 10.1080/15361055.2022.2149033 EDN: ZIBZCH
11. Gryaznevich M, Asunta O. Overview and status of construction of ST40. *Fusion Engineering and Design*. 2017;123:177–180. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2017.03.011> EDN: VDFVMW
12. Kuteev BV, Azizov EA, Bykov AS, et al. Steady-state operation in compact tokamaks with copper coils. *Nuclear Fusion*. 2011;51(7). doi: 10.1088/0029-5515/51/7/073013 EDN: MWVEXC
13. File J, Mills RG, Sheffield GV. Large Superconducting Magnet Designs for Fusion Reactors. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 1971;18(4):277–282. doi: 10.1109/TNS.1971.4326354
14. Shafranov VD. Optimum Shape of a Toroidal Solenoid. *Soviet Physics Technical Physics*. 1973;17:1433.
15. Vinitskiy EA, Ulasevich DL, Prishvitsyn AS, et al. Optimization of the Toroidal Magnetic Coil System for the Small Spherical Tokamak MPhIST-0. *Fusion Science and Technology*. 2025;81(5):485–494. doi: 10.1080/15361055.2024.2431782
16. Khodzhbagiyani HG, Novikov MS, Fisher EZ, Shemchuk AV. Concept of the High-Temperature Superconductor Magnetic System of the New Nuclotron Synchrotron. *Physics of Particles and Nuclei Letters*. 2024;21(1):68–72. doi: 10.1134/S1547477124010060 EDN: GOFBTG
17. Alexandrov DA, Martirosian IV, Pokrovskii SV, et al. Energy capacity and energy losses of inductive energy storage device based on composite HTS tapes. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024;10(2):215–230. doi: <https://doi.org/10.17816/transsyst632274> EDN: LKEQV

Сведения об авторах:

Александров Дмитрий Александрович, инженер-исследователь;

eLibrary SPIN: 5365-6190; ORCID: 0009-0001-7383-0094;

E-mail: cfrfcfrfdima123@gmail.com

Мартirosян Ирина Валерьевна, канд. физ.-мат. наук; инженер-исследователь;

eLibrary SPIN: 3368-8809; ORCID: 0000-0003-2301-1768;

E-mail: mephizic@gmail.com

Виницкий Егор Александрович, инженер;

eLibrary SPIN: 9216-7080; ORCID: 0009-0003-9462-5756;

E-mail: egor.vinitsky@gmail.com

Осипов Максим Андреевич, инженер-исследователь;

eLibrary SPIN: 4776-7939; ORCID: 0000-0002-8981-5606;

E-mail: max.vfk@gmail.com

Покровский Сергей Владимирович, канд. физ.-мат. наук,

заведующий научно-исследовательской лабораторией;

eLibrary SPIN: 6643-7817; ORCID: 0000-0002-3137-4289;

E-mail: sergeypokrovskii@gmail.com

Information about the authors:

Dmitry A. Aleksandrov, research engineer;

eLibrary SPIN: 5365-6190; ORCID: 0009-0001-7383-0094;

E-mail: cfrfcfrfdima123@gmail.com

Irina V. Martirosian, Cand. Sci. (Phys. Math.), research engineer;

eLibrary SPIN: 3368-8809; ORCID: 0000-0003-2301-1768;

E-mail: mephizic@gmail.com

Egor A. Vinitskiy, engineer;

eLibrary SPIN: 9216-7080; ORCID: 0009-0003-9462-5756;

E-mail: egor.vinitsky@gmail.com

Maxim A. Osipov, research engineer;

eLibrary SPIN: 4776-7939; ORCID: 0000-0002-8981-5606;

E-mail: max.vfk@gmail.com

Sergey V. Pokrovskii, Cand. Sci. (Phys. Math.), Head of the Laboratory;

eLibrary SPIN: 6643-7817; ORCID: 0000-0002-3137-4289;

E-mail: sergeypokrovskii@gmail.com

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

<https://doi.org/10.17816/transsyst688483>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© Е.Г. Козин¹, А.П. Ледяев², Д.Л. Бурин¹

¹ Петербургский метрополитен

² Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ РЕНОВАЦИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТОЛОВ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Обоснование. Сокращение продолжительности, трудоемкости и стоимости работ при капитальном ремонте и реконструкции стволов шахтной вентиляции.

Цель. Усовершенствование методов ремонта для усиления и теплоизоляции обделок стволов шахтной вентиляции.

Материалы и методы. Представлены результаты расчетно-теоретических исследований и экспериментальных исследований на физической модели участка вентиляционного ствола. Подтверждена эффективность применения пеностеклобетона для капитального ремонта и реконструкции стволов шахтной вентиляции. Экспериментально доказано, что при использовании данной технологии промораживания тела рубашки не происходит, а температура на контакте обделки и грунта не опускается до температуры замерзания воды.

Результаты. Описано внедрение разработанной технологии на действующем стволе вентиляционной шахты метрополитена, включая монтаж системы мониторинга температур. Результаты мониторинга подтвердили заявленные характеристики материала и конструкции. Для повышения теплоизоляционной эффективности и увеличения скорости возведения конструкционно-теплоизоляционной рубашки заменен арматурный каркас на дисперсное армирование с применением фибры.

Заключение. Разработанная конструкционно-теплоизоляционная рубашка на основе модифицированного пеностеклобетона с применением фибры способна эффективно защищать обделку стволов вентиляционных шахт от промерзания, обеспечивая их долговечность и безопасную эксплуатацию.

Ключевые слова: вентиляционные стволы; промерзание; обделка; метрополитен; теплоизоляция.

Как цитировать:

Козин Е.Г., Ледяев А.П., Бурин Д.Л. Эффективные методы реновации эксплуатируемых вентиляционных стволов Петербургского метрополитена // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 422–433. doi: 10.17816/transsyst688483

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Subject – Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels

© E.G. Kozin¹, A.P. Ledyayev², D.L. Burin¹

¹ Petersburg Metro

² Emperor Alexander I. St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

EFFECTIVE RENOVATION METHODS OF THE VENTILATION SHAFTS IN THE ST. PETERSBURG METRO SYSTEM

BACKGROUND: Reducing the duration, labor intensity, and cost of work during major repairs and reconstruction of ventilation shafts.

AIM: The work aimed to improve repair methods for reinforcing and thermal insulation of the ventilation shaft lining.

METHODS: The study presents the theoretical and experimental research on a physical model of a ventilation shaft section. The study proved that foamed glass concrete is effective for major repairs and reconstruction of ventilation shafts. It has been experimentally proven that this technology prevents freezing of the insulation body and the temperature at the point where the insulation contacts the ground does not drop to the ice point.

RESULTS: We described the implementation of the developed technology in an operating ventilation shaft of the metro system, including the installation of a temperature monitoring system. The monitoring confirmed the stated properties of the material and design. To improve thermal insulation efficiency and speed up the construction of the structural thermal insulation, the reinforcement frame was replaced with fiber-based dispersed reinforcement.

CONCLUSION: The developed structural thermal insulation based on modified foamed glass concrete with added fiber can effectively protect the lining of ventilation shafts from freezing, ensuring their durability and safe operation.

Keywords: ventilation shafts; freezing; lining; metro; thermal insulation.

To cite this article:

Kozin EG, Ledyayev AP, Burin DL. Effective renovation methods of the ventilation shafts in the St. Petersburg metro system. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):422–433. doi: 10.17816/transsyst688483

ВВЕДЕНИЕ

Стволы вентиляционных шахт на любом объекте транспортной или горнодобывающей промышленности являются особо важными объектами инфраструктуры, обеспечивающими подачу свежего воздуха в сети выработок, станционных комплексов и тоннельных сооружений. В горнодобывающей промышленности шахтные стволы обеспечивают гораздо более широкий комплекс функций, связанный с спуском и подъемом работников, полезных

ископаемых, материалов и оборудования [1]. В этой связи, обеспечение безопасной и длительной эксплуатации строительных конструкций объектов инфраструктуры метрополитена [2–4], равно как и шахтных стволов, является важной задачей, а решение проблемы промерзания конструкций стволов при проникновении воды, содержащейся в массиве пород – особо важной для регионов с низкими, циклично изменяющимися в течение зимнего периода температурами. Обделка (постоянная крепь) шахтных стволов должна обладать повышенной прочностью и водонепроницаемостью, способностью не изменять свои физико-механические свойства при замораживании и оттаивании, стойкостью по отношению к разрушающему воздействию агрессивных подземных вод.

УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ

Основными задачами системы вентиляции в метрополитене являются: удаление вредностей в виде газовых выделений (преимущественно углекислого газа), снижение уровней влажности и пыли, избыточного тепла, а также поддержание нормальных условий воздушной среды и микроклимата подземных сооружений. Вентиляционные стволы (расположенные у станций и на перегонах между ними), вентиляционные выработки и оборудование обеспечивают дымоудаление при возгораниях и задымлениях при пожарах, могут выполнять функции эвакуационных выходов (в случае наличия лестничных спусков в пространстве ствола) для пассажиров и работников метрополитена при чрезвычайных ситуациях.

В зимний период времени вентиляционные стволы, функционирующие в режиме приточной вентиляции, подвергаются воздействию низких температур воздуха, достигающих значений -25°C и ниже. Следствием этого является интенсивное промерзание обделки ствола и прилегающих грунтов, что усугубляется проникновением влаги через дефекты гидроизоляции. Строительные конструкции и оборудование вентиляционных стволов также подвергаются периодическому замерзанию и оттаиванию, что приводит к прогрессирующему износу строительных конструкций.

Вентиляционные выработки, как правило, залегают в плотных сухих глинах, тогда как вентиляционный ствол пересекает все слои грунтов инженерно-геологического разреза, в том числе толщу слабых обводненных грунтов четвертичных отложений [5–7]. В процессе эксплуатации это оказывает существенное влияние на техническое состояние обделки сооружения [8, 9].

Наличие водоносных горизонтов в четвертичных отложениях и фильтрующих грунтов оказывает негативное влияние на тампонажные растворы, приводя к нарушению их структуры и последующему вымыванию, что способствует аккумуляции воды непосредственно за обделкой ствола. В условиях знакопеременных температур вода в образовавшихся полостях замерзает, увеличиваясь в объеме. Присутствующие за обделкой грунтовые воды оказывают негативное воздействие на тампонажный раствор, приводя к нарушению его структуры, последующему вымыванию. Данный процесс приводит к прогрессирующему во времени скоплению воды непосредственно

за обделкой [10–12]. В период действия отрицательных температур наружного воздуха вода, находящаяся в образовавшихся полостях за обделкой ствола, замерзает и расширяется в объеме. С учетом наличия отпора грунта, а также с учетом его возможного промораживания, расширение проявляется в виде деформации обделки внутрь ствола. Для обделки из чугунных тюбингов характерно хрупкое их разрушение с отделением (откалыванием) фрагментов тюбинга и падением внутрь ствола (Рис. 1).



Рис. 1. Разрушение ребра тюбинга со смещением

Fig. 1. Failure and displacement of a tunnel vault rib

Циклическое повышение давления со стороны грунтового массива вызывает износ конструкций, повреждение обделки (крепи) и, как следствие, потенциально аварийные ситуации, характеризующиеся поступлением воды и грунтовых масс в ствол. Знакопеременный температурный режим с многократными циклами промерзания-оттаивания усугубляет условия эксплуатации конструкций. Данная проблема характерна для вентиляционных выработок, работающих на приток воздуха в холодное время года, не только в Северо-Западном регионе России (в частности, в Санкт-Петербурге), но и в других регионах с устойчивыми отрицательными температурами ниже -25°C .

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящее время для ремонта и усиления обделок существующих стволов шахтной вентиляции в Петербургском метрополитене используется технология устройства железобетонных рубашек, основанная на применении стандартных методов строительства. Данный метод предполагает устройство высокопрочной внутренней рубашки из монолитного железобетона с гидроизоляцией. К недостаткам такого решения следует отнести значительное количество технологических операций, длительные сроки выполнения работ, высокую

стоимость гидроизоляционных работ и отсутствие теплоизоляции, что может привести к повреждению железобетонной рубашки при промерзании обделки и повторного появления дефектов.

Для защиты обделки вертикальных выработок от промерзания применяются различные способы теплоизоляции, которые характеризуются многооперационностью, существенным уменьшением полезного сечения выработки и высокой стоимостью, такие как:

- установка устройств или оборудования принудительного обогрева (например, тепловентиляторы, греющие кабели и панели, инфракрасные источники);
- установка защитных устройств внутри стволов (конструктивное решение – съемные панели и несъемная опалубка);
- применение защитных (теплоизолирующих) материалов при ремонте стволов (растворы, смеси, напыляемые материалы).

Эксплуатационная надежность и безопасность объектов инфраструктуры метрополитена является приоритетной задачей, требующей постоянного внимания [2–4]. Не менее важным является увеличение продолжительности эксплуатации объектов в межремонтные периоды и снижение затрат на ремонт и эксплуатацию. Для решения указанных задач и минимизации негативного воздействия отрицательных температур на обделку вентиляционных стволов, с 2016 года Петербургским метрополитеном совместно с кафедрами «Тоннели и метрополитены» и «Инженерная химия и естествознание» Петербургского государственного университета путей сообщения проводятся исследования конструктивно-технологических решений по реновации вентиляционных стволов с использованием конструкционно-теплоизоляционных рубашек. Концепция предлагаемого конструктивно-технологического решения заключается в объединении функций усиления (железобетонная рубашка) и теплоизоляции в единую конструкцию на основе специальных видов бетона. Бетонирование рубашки осуществляется с одновременным заполнением ячеек тюбингов, что исключает трудоемкую и продолжительную операцию предварительного заполнения ячеек [12, 13]. Напыляемая гидроизоляция наносится на поверхность тюбингов до начала бетонирования.

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ многочисленных способов и вариантов расчетных схем [14, 15], а также применения различных видов бетонов, обладающих теплоизолирующими свойствами, позволил установить, что наиболее приемлемым вариантом является применение пеностеклобетона. При этом, необходимые параметры по теплоизоляционным свойствам рубашки из пеностеклобетона подбирались на основе расчетной математической модели (Рис. 2).

Расчетно-теоретические исследования показали, что для формирования теплоизоляционной обоймы внутри вентиляционных стволов метрополитена (для условий Санкт-Петербурга), необходимо применение материала со следующими

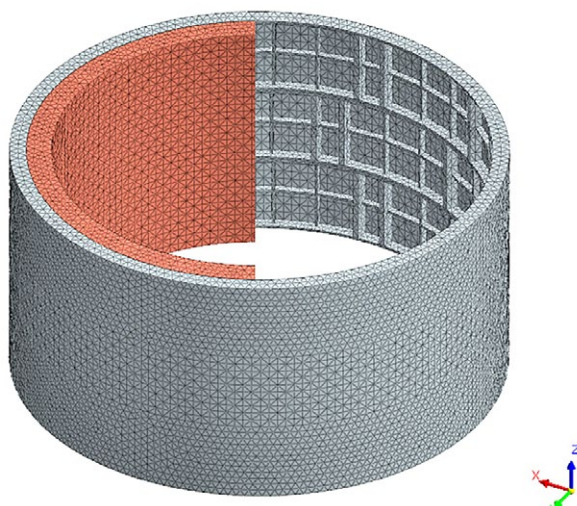


Рис. 2. Общий вид математической модели тюбингов обделки с пеностеклобетонной рубашкой

Fig. 2. General view of the mathematical model of lining plates with foamed glass concrete insulation

техническими характеристиками: прочность на сжатие не менее 7,5 МПа; морозостойкость не менее F100; теплопроводность не более 0,2 Вт/(м·К); водонепроницаемость не менее W6.

В ходе дальнейшей работы был произведен подбор состава пеностеклобетона, удовлетворяющего приведенным выше показателям, и появилась возможность произвести экспериментальные исследования.

Процесс опытного заполнения теплоизоляционной обоймы и оценка теплоизоляционной способности выбранного состава пеностеклобетона проводились на специальной физической модели, изготовленной в натуральную величину. Моделировался участок вентиляционного ствола из чугунных тюбингов наружным диаметром 5,49 м, на внутреннюю поверхность которых наносился слой напыляемой гидроизоляции, и в последующем осуществлялась установка арматурного каркаса. После монтажа температурных датчиков производилось бетонирование обоймы из пеностеклобетона.

Для исследований была разработана специальная климатическая установка (Рис. 3), позволяющая поддерживать температуру воздуха с внутренней стороны рубашки в диапазоне $-25...-30^{\circ}\text{C}$. Температура модели при различных уровнях температурных воздействий фиксировалась в разных точках по глубине – на внутренней поверхности рубашки, в уровне первого и второго ряда арматуры, в уровне ребер и спинки тюбингов и за обделкой в грунтовой массе.

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

- 1) При задании температуры внутри камеры в пределах $-25...-30^{\circ}\text{C}$ промораживания тела рубашки не произошло при продолжительности воздействия 24 дня. Температура на контакте наружного контура обделки и обводненного грунта не опускалась до температуры замерзания воды.

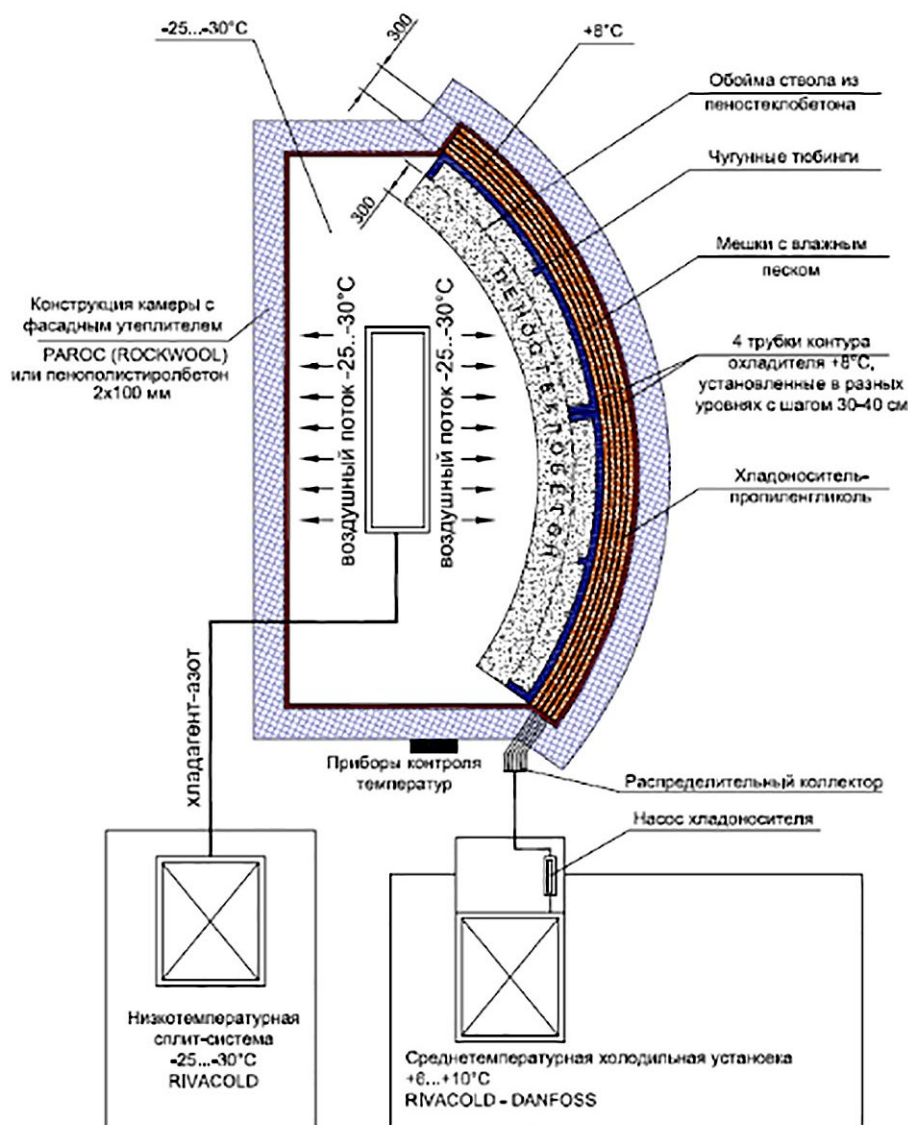


Рис. 3. План-схема размещения холодильных установок

Fig. 3. Layout of refrigeration units

- 2) Наиболее важным этапом в процессе решения задачи об исключении промораживания обделки вентиляционных стволов после ремонта стало внедрение технологии на действующем стволе вентиляционной шахты метрополитена.

На выбранном объекте, согласно, плану капитального ремонта, была создана конструкционно-теплоизоляционная рубашка из пеностеклобетона, смонтирована система мониторинга температур внутри ствола, за обделкой и в различных уровнях по глубине теплоизоляционной усиливающей рубашки.

Выполненные экспериментальные исследования, капитальный ремонт действующего опытного ствола и довольно продолжительный период мониторинга (более 3 лет) позволили подтвердить эффективность принятых конструктивно-технологических решений и сформулировать ряд требований

к производству работ по устройству теплоизоляционной рубашки. В частности, для повышения теплоизоляционной эффективности и увеличения скорости возведения конструкционно-теплоизоляционной рубашки – заменить арматурный каркас на дисперсное армирование с применением фибры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам дальнейших исследований разработан модифицированный состав пеностеклобетона с введенной в него щелочестойкой и огнестойкой фиброй на основе диоксида циркония. Состав защищен патентом № 2823634 Российской Федерации «Теплоизоляционный бетон» от 09.01.2024 [16]. Прочностные характеристики состава представлены в Табл.

Таблица. Прочностные характеристики модифицированного пеностеклобетона

Table. Strength parameters of modified foamed glass concrete

Средняя плотность бетона, кг/м ³	800–900
Прочность на сжатие, МПа: - через 24 часа - через 48 часов - через 72 часа - через 7 суток - через 28 суток	$\geq 4,0$ $\geq 6,5$ $\geq 8,5$ $\geq 18,0$ $\geq 26,0$
Класс по прочности на сжатие	$\geq B20$
Прочность на растяжение при изгибе, МПа: - через 28 суток	$\geq 3,3$
Морозостойкость, марка F ₁	≥ 300
Водонепроницаемость, марка W	≥ 6
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°C	$\leq 0,15$

Для подтверждения теплоизоляционных свойств пеностеклобетонной рубашки был выполнен термодинамический расчет, по результатам которого установлено, что промораживания чугунной обделки и грунта в заобделочном пространстве не происходит.

Конструктивно-технологическое решение перехода к без арматурной технологии с использованием модифицированного пеностеклобетона с фиброй, позволяет:

- 1) Сократить сроки выполнения работ по реновации вентиляционных шахт (в связи с отсутствием необходимости монтажа арматурного каркаса).
- 2) Улучшить теплоизоляционные характеристики обоймы (отрицательные температуры не передаются по стержням арматуры).

С учетом усовершенствованного состава пеностеклобетона и доработки технологии производства ремонтных работ, было начато проектирование капитального ремонта одной из действующих шахт метрополитена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных расчетно-аналитических исследований и реализованных работ в рамках реновации действующего ствола шахтной вентиляции Петербургского метрополитена удалось добиться исключения промерзания обделки. Разработанная конструкция усиливающей теплоизоляционной обоймы (теплоизоляционной рубашки) на основе пеностеклобетона способна полноценно выполнять заявленные функции и защищать обделку стволов вентиляционных шахт от промерзания. В свою очередь, с учетом качеств ремонтного материала, задача обеспечения долговечности и безопасной, бесперебойной эксплуатации объектов, задействованных в системе вентиляции подземных сооружений в условиях знакопеременных и экстремально низких температур, может быть решена не только на территории Северо-Западных регионов России.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудничная вентиляция: Справочник / под ред. К.З. Ушакова. М.: Недра, 1988.
2. Федеральный закон Российской Федерации № 384-ФЗ от 30 ноября 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Дата обращения: 25.05.2025. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902192610>
3. Федеральный закон Российской Федерации № 442-ФЗ от 29 декабря 2017 г. «О внеуличном транспорте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Дата обращения: 25.05.2025. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/556184650>
4. Постановление Правительства Санкт-Петербурга № 775 от 29 сентября 2020 г. «Об утверждении Правил технической эксплуатации Петербургского метрополитена». Дата обращения: 25.05.2025. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565880011>
5. Дашко Р.Э., Котюков П.В., Шидловская А.В. Влияние гидрогеологических условий на безопасность освоения подземного пространства при строительстве транспортных тоннелей // Записки Горного института. 2012. Т. 199. С. 9–16. EDN: OUPFEZ
6. Дашко Р.Э., Котюков П.В. Инженерно-геологическое обеспечение эксплуатационной надежности подземных транспортных сооружений в Санкт-Петербурге // Записки Горного института. 2011. Т. 190. С. 71–77. EDN: ROWCVD
7. Александрова О.Ю., Шидловская А.В. Влияние инженерно-геологических и геоэкологических условий на особенности деформаций и коррозионных

- процессов в транспортных тоннелях в Санкт-Петербурге // Записки Горного института. 2007. Т. 172. С. 74–77. EDN: ICJUKP
8. Шашкин А.Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. М.: Академическая наука – Геомаркетинг, 2014.
 9. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Подземные сооружения в условиях городской застройки на слабых грунтах // Развитие городов и геотехническое строительство. 2010. № 1. С. 1–10. EDN: SYGPQF
 10. Козин Е.Г., Тулина Н.В., Николаева Т.Н., Корвет Н.Г. Особенности инженерно-геологических условий строительства и эксплуатации сооружений Санкт-Петербургского метрополитена. В кн.: Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в условиях рыночной экономики России. XI Толстихинские чтения. Тезисы докладов научно-методической конференции; Ноябрь 30 – декабрь 1, 2004; Санкт-Петербург. Санкт-Петербург, 2004.
 11. Бурин Д.Л., Козин Е.Г. Обеспечение безопасной эксплуатации обделки стволов вентиляционных шахт Петербургского метрополитена. В кн.: Межрегиональная научно-практическая конференция «Транспорт. Взгляд в будущее – TFV-24»; Ноябрь 7-8, 2024; Санкт-Петербург. Санкт-Петербург, 2024. С. 197–200. EDN: TJBATZ
 12. Konkov A., Sokornov A., Korolev K. The results analysis of the tubing tunnel facing mathematical modeling using the reduced section. In: International scientific Siberian transport forum TransSiberia–2021. Lecture Notes in Networks and Systems; 2022 March; Springer, Cham; 2022. doi: 10.1007/978-3-030-96380-4_62
 13. Патент РФ № 2655712 / 29.05.2018. Ледяев А.П., Кавказский В.Н., Чумов М.В., Сокорнов А.А. Способ реконструкции шахтного ствола с тубинговой крепью. EDN: KQYSIY
 14. Орешко Е.И., Ерасов В.С., Лашов О.А., и др. Численное исследование несущей способности слоистого материала // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. № 3. С. 16–21. doi: 10.31044/1994-6260-2019-0-3-16-21 EDN: ZALLGP
 15. Гриневич Д.В., Бузник В.М., Нужный Г.А. Обзор применения численных методов для моделирования и разрушения льда // Труды ВИАМ. 2020. № 8(90). С. 109–122. doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-109-122 EDN: WQNHTP
 16. Патент РФ № 2823634 / 26.07.2024. Соловьева В.Я., Степанова И.В., Соловьев Д.В., и др. Теплоизоляционный бетон. EDN: YIBVNW

REFERENCES

1. Ushakov KZ, editor. *Rudnichnaja ventiljacija: Spravochnik*. Moscow: Nedra; 1988. (In Russ.)
2. Federal Law of Russian Federation № 384-F3 of 30 November 2009. “Tehnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij”. Accessed: 25.05.2025. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/902192610> (In Russ.)
3. Federal Law of Russian Federation № 442-FZ of 29 December 2017 “O vneulichnom transporte i o vnesenii izmenenij v otdel’nye zakonodatel’nye akty Rossijskoj

- Federacii”. Accessed: 25.05.2025. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/556184650> (In Russ.)
4. Resolution of the Government of St. Petersburg № 775 of 29 September 2020 “Ob utverzhdenii Pravil tehniceskoy jekspluatacii Peterburgskogo metropolitena”. Accessed: 25.05.2025. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/565880011> (In Russ.)
 5. Dashko RE, Kotyukov PV, Shidlovskaya AV. Hydrogeological conditions effect on safety of underground space expansion during transport tunnel construction. *Zapiski Gornogo instituta*. 2012;199:9–16. Accessed: 25.05.2025. Available from: <https://pmi.spmi.ru/pmi/article/view/5812/3696> (In Russ.) EDN: OUPFEZ
 6. Dashko RE, Kotyukov PV. The engineering geological control of underground transport tunnels exploitation reliability in Saint Petersburg. *Zapiski Gornogo instituta*. 2011;190:71–77. (In Russ.) EDN: ROWCVD
 7. Aleksandrova OY, Shidlovskaya AV. Influence of engineering, geological and geo-ecological conditions on deformation and corrosion processes in transportation tunnels in St. Petersburg. *Zapiski Gornogo instituta*. 2007;172:74–77. (In Russ.) EDN: ICJUKP
 8. Shashkin AG. *Design of buildings and underground structures in complex engineering and geological conditions of St. Petersburg*. Moscow: Akademicheskaja nauka – Geomarketing; 2014. Accessed: 25.05.2025. Available from: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpegglefindmkaj/http://geo-bookstore.ru/files/Shashkin-Moscow.pdf> (In Russ.)
 9. Ulickij VM, Shashkin AG. Underground structures in urban development conditions on soft soils. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2010;(1):1–10. (In Russ.) EDN: SYGPQF
 10. Kozin EG, Tulina NV, Nikolaeva TN, Korvet NG. Peculiarities of engineering and geological services in the construction and operation of the Saint Petersburg metropolitan area. In: *Trends and prospects for the development of hydrogeology and engineering geology in the spheres of the Russian market economy. XI Tolstihin lectures. Abstracts of the scientific and methodological conference; 2004 Nov 30 – Dec 1; St. Petersburg*. St. Petersburg, 2004. (In Russ.)
 11. Burin DL, Kozin EG. Obespechenie bezopasnoj jekspluatacii obdelki stvolov ventiljacionnyh shaht Peterburgskogo metropolitena. Mezhhregional'naja nauchno-prakticheskaja konferencija “Transport. Vzgljad v budushhee – TFV-24”; 2024 Nov 7-8; St. Petersburg. (In Russ.) St. Petersburg; 2024:197–200. EDN: TJBATZ
 12. Konkov A, Sokornov A, Korolev K. The results analysis of the tubing tunnel facing mathematical modeling using the reduced section. International scientific Siberian transport forum TransSiberia – 2021. Lecture Notes in Networks and Systems; 2022 March; Springer, Cham; 2022. doi: 10.1007/978-3-030-96380-4_62
 13. Patent RUS №2655712/ 29.05.2018. Ledjaev AP, Kavkazskij VN, Chumov MV, Sokornov AA. *Sposob rekonstrukcii shahtnogo stvola s tjubingovoj krep'ju*. (In Russ.) EDN: KQYSIY
 14. Oreshko EI, Erasov VS, Lashov OA, Podzhivotov NJu, Kachan DV. Numerical investigation of load-carrying capability of laminated material.

- Vse materialy. Jenciklopedicheskiy spravocnik.* 2019;(3):16–21. (In Russ.) doi: 10.31044/1994-6260-2019-0-3-16-21 EDN: ZALLGP
15. Grinevich DV, Buznik VM, Nuzhnyj GA. Review of numerical methods for simulation of the ice deformation and fracture. *Trudy VIAM.* 2020;(8(90)):109–122. (In Russ.) doi: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-109-122 EDN: WQNHTP
16. Patent RUS №2823634/ 26.07.2024. Solov'eva VJa, Stepanova IV, Solov'ev DV, Filonov JuA, Kon'kov AN, Sokornov AA, Kozin EG. *Teploizoljacionnyj beton.* (In Russ.) EDN: YIBVNW

Сведения об авторах:

Козин Евгений Германович, канд. техн. наук, начальник;

eLibrary SPIN: 1576-6514;

E-mail: ns@metro.spb.ru

Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор;

eLibrary SPIN: 5165-9488; Scopus ID: 57211346525;

E-mail: tunnels@pgups.ru

Бурин Дмитрий Леонидович, заместитель начальника;

E-mail: Burin.D@metro.spb.ru

Information about the authors:

Evgenii G. Kozin, Cand. Sci. (Engineering), Head;

eLibrary SPIN: 1576-6514;

E-mail: ns@metro.spb.ru

Aleksandr P. Ledjaev, Dr. Sci. (Engineering), professor;

eLibrary SPIN: 5165-9488; Scopus ID: 57211346525;

E-mail: tunnels@pgups.ru

Dmitrij L. Burin, Deputy Chief;

E-mail: Burin.D@metro.spb.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst688686>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© М.С. Вагин, Е.С. Палкина

Санкт-Петербургский государственный морской технический
университет
(Санкт-Петербург, Россия)

МАТРИЦА ЗРЕЛОСТИ ЦИФРОВОГО БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель. Разработка и обоснование матрицы зрелости цифрового бережливого производства, отражающей пофазную интеграцию инструментов цифровизации и бережливого производства в условиях цифровой трансформации промышленности. Особое внимание уделено применению матрицы зрелости в наукоемких отраслях транспортного машиностроения.

Материалы и методы. Использован фазный подход к классификации инструментов цифровизации и бережливого производства. Применены методы сравнительного анализа, экспертной оценки, логико-структурного моделирования, а также матричной диагностики. Оценка проводилась на базе разработанной модели по четырем фазам внедрения: от базовой реализации до стратегической трансформации.

Результаты. Сформирована матрица зрелости цифрового бережливого производства, включающая 16 ячеек, каждая из которых отражает уровень освоения инструментов цифрового бережливого производства на определенной фазе. Матрица позволяет выявлять несоответствия и провалы зрелости между бережливыми и цифровыми направлениями, а также выстраивать индивидуальные траектории развития производственной системы.

Заключение. Представленный инструмент может использоваться для самооценки уровня зрелости как на предприятиях машиностроительного сектора, так и промышленности в целом, разработки дорожных карт трансформации, а также стратегического управления внедрением цифровых и организационных изменений. Применение матрицы способствует достижению согласованного и сбалансированного развития цифрового бережливого производства.

Ключевые слова: цифровое бережливое производств; транспортное машиностроение; промышленное предприятие; экономическая эффективность.

Как цитировать:

Вагин М.С., Палкина Е.С. Матрица зрелости цифрового бережливого производства // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 434–449. doi: 10.17816/transsyst688686

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© **M.S. Vagin, E.S. Palkina**

State Marine Technical University
(St. Petersburg, Russia)

DIGITAL LEAN MANAGEMENT MATURITY MATRIX

AIM: The work aimed to develop and validate a digital lean management maturity matrix reflecting the staged integration of digital transformation and lean management tools in the context of industrial digital transformation. The study is focused on the application of the maturity matrix in knowledge-intensive sectors of the transport engineering industry.

METHODS: The study uses a staged approach to the classification of digital transformation and lean management tools; comparative analysis; expert opinions; logical framework modeling, and matrix analysis. The assessment was based on the developed four-stage implementation model, from basic implementation to strategic transformation.

RESULTS: The authors developed a digital lean management maturity matrix with 16 boxes, where each box represents the implementation level of digital lean management tools at a certain stage. The matrix allows identifying inconsistencies and maturity gaps between lean and digital areas and building individual development pathways for the production system.

CONCLUSION: The presented tool can be used for maturity self-assessment both by mechanical engineering companies and the industry in general; development of transformation roadmaps, and strategic management of the implemented digital and organizational changes. The matrix helps to develop a coordinated and well-balanced digital lean management strategy.

Keywords: digital lean management; transport engineering; industrial company; cost efficiency.

To cite this article:

Vagin MS, Palkina ES. Digital lean management maturity matrix. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):434–449. doi: 10.17816/transsyst688686

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация производственных систем в промышленности требует комплексной модернизации не только технологической инфраструктуры, но и организационных подходов к управлению процессами. В большей степени эта потребность проявляется в наукоемких отраслях промышленности, таких как транспортное машиностроение, где необходима высокая степень точности, надежности и адаптивности к изменениям внешней среды. Предприятия данной отрасли сталкиваются с необходимостью синхронного внедрения цифровых решений (например, интеллектуальных систем мониторинга, цифровых

двойников, адаптивного планирования) и организационных методов повышения эффективности, таких как бережливое производство [1].

На этом фоне активно развивается парадигма цифрового бережливого производства (ЦБП), интегрирующая принципы бережливого производства (БП) и возможности цифровизации (Ц). ЦБП рассматривается как системный подход, обеспечивающий адаптивность, прозрачность и устойчивое совершенствование производственной системы за счет устранения потерь и цифровизации потоков создания ценности [2, 3]. Однако практика внедрения показывает, что в условиях отсутствия архитектурной согласованности между инициативами бережливого производства и цифровизации возникают риски фрагментации, дублирования процессов, роста издержек и утраты управляемости [4, 5].

В этих условиях актуальной задачей становится разработка модели зрелости, позволяющей не только оценить текущее состояние предприятия, но и определить сбалансированную траекторию интеграции цифровых и бережливых решений. Такая модель должна учитывать не только степень внедрения конкретных инструментов, но и логику их взаимосвязи, фазность развития производственной системы и потенциал синергии [6].

Целью настоящего исследования является разработка и обоснование матрицы зрелости цифрового бережливого производства, предназначенной для диагностики, стратегического планирования и управления рисками несбалансированной трансформации. В отличие от существующих моделей цифровой зрелости, предложенный подход основан на двумерной фазной структуре, включающей четыре уровня зрелости цифровизации и четыре уровня зрелости бережливого производства, что обеспечивает целостное представление об организационно-технологической конфигурации предприятия.

Статья структурирована следующим образом: в первом разделе раскрывается логика фазного внедрения инструментов цифровизации и бережливого производства, формулируются критерии их классификации; далее описывается структура матрицы зрелости, ее содержательное наполнение и сценарии практического применения; завершающая часть работы посвящена идентификации рисков несогласованного внедрения и выводам о возможностях стратегического управления цифрово-бережливой трансформацией на предприятиях машиностроительного профиля.

ЛОГИКА ФАЗНОГО ВНЕДРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ И БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Интеграция инструментов бережливого производства и цифровизации в рамках подхода цифрового бережливого производства требует системного и поэтапного анализа.

В настоящей работе под цифровым бережливым производством понимается – комплексный подход к организации бизнеса, объединяющий принципы, инструменты бережливого производства и цифровизации в целях создания ценности для всех заинтересованных сторон посредством полного охвата процессов, их постоянного совершенствования и устранения потерь.

Как показано в ряде исследований [7, 8], эффективность цифровизации промышленного предприятия в значительной степени определяется не только уровнем технологической зрелости, но и последовательностью внедрения инструментов, их взаимосвязанностью и соответствием текущему состоянию производственной системы.

В этой связи особую значимость приобретает системный анализ прикладного состава и классификации инструментов бережливого производства и цифровизации. Современные классификации инструментов преимущественно опираются на функциональные, методологические или технологические основания (например, по видам устраняемых потерь, по направлениям улучшений, по типам технологий) [9–11]. Несмотря на их теоретическую ценность, такие классификации зачастую не учитывают необходимость поступательного развития предприятия и не обеспечивают управленческой привязки к этапам организационной зрелости. В частности, ориентация исключительно на метод или область применения инструмента ограничивает возможность их системной интеграции и последовательного внедрения.

Для преодоления указанных ограничений в настоящем исследовании предложен *фазный подход*, предполагающий распределение инструментов бережливого производства и цифровизации по этапам зрелости производственной системы. Такой подход базируется на логике эволюционного развития предприятия – от первичной стандартизации и стабилизации процессов до стратегической цифровой трансформации, и внедрения самообучающихся систем управления.

Фазное распределение инструментов позволяет:

- обеспечить согласованность между возможностями цифровизации и рационализацией бережливого производства;
- минимизировать риски изолированного или преждевременного внедрения сложных технологий;
- последовательно наращивать потенциал экономической эффективности предприятия за счет взаимного усиления внедренных решений.

Основу предлагаемого подхода составляют четыре прикладных критерия:

1. *Стоимость внедрения*, включая капитальные затраты и операционные расходы.
2. *Сложность внедрения*, учитывающая как технологические, так и организационно-культурные барьеры.
3. *Взаимосвязанность инструментов*, определяющая логическую и функциональную последовательность внедрения.
4. *Влияние на экономическую эффективность*, отражающее эффект от применения инструмента на ключевые показатели: производительность труда, фондоотдачу, материалоотдачу.

Без применения философии бережливого производства позволяющей оптимизировать производственные процессы, цифровизация может привести к автоматизации неэффективных процессов и росту издержек. В то же время внедрение бережливых инструментов без цифровой аналитики и мониторинга ограничивает возможности масштабируемости и устойчивости улучшений [12].

Следовательно, логика фазного внедрения формирует обоснованную траекторию развития производственной системы, где каждый инструмент служит не только локальным улучшением, но и базой для последующих решений. Такая траектория позволяет достигать синергетического эффекта – не просто суммирования эффектов, а формирования новой системной конфигурации управления, способной обеспечить экспоненциальный рост эффективности.

ЧЕТЫРЕ ФАЗЫ ВНЕДРЕНИЯ

На основании изложенного подхода, сформирована классификация инструментов бережливого производства и цифровизации по признаку – *фаза внедрения*. Она включает четыре последовательные стадии трансформации производственной системы, отражающие нарастающую сложность решений, уровень зрелости предприятия и масштабы ожидаемого эффекта. Каждая фаза представляет собой не просто совокупность инструментов, а логически обоснованный этап цифрово-бережливого развития (Рис. 1).

Фаза 1. Базовое внедрение

Начальный этап направлен на устранение наиболее очевидных потерь, стабилизацию процессов и формирование производственной дисциплины. Применяются недорогие и относительно простые в реализации инструменты, такие как 5S, визуализация, стандартизация, чек-листы, система предложений [13]. Основной целью является обеспечение прозрачности, вовлеченности и предсказуемости процессов. Эти инструменты не требуют масштабных инвестиций и могут быть внедрены в условиях ограниченного бюджета и начальной организационной зрелости.

Фаза 2. Процессная оптимизация

На втором этапе внимание смещается к управлению потоком создания ценности и устранению внутренних отклонений. Внедряются более структурные решения: картирование потоков (VSM), SMED, TPM, система вытягивания (Kanban), а также начальные цифровые инструменты (например, мониторинг простоев, MES начального уровня). Для реализации инструментов данной фазы требуется базовая цифровая и организационная инфраструктура, вовлечение кросс-функциональных команд и наличие стандартизированных процессов [14, 15]. Эффект выражается в снижении потерь времени, брака, переналадок и неэффективных перемещений.

Фаза 3. Стратегическая интеграция

На третьей фазе происходит объединение ранее внедренных решений в единую управленческую систему. Осуществляется интеграция цифровых и бережливых практик, внедряются аналитические инструменты (BI, производственные дашборды, системы мониторинга в реальном времени), цифровые двойники и управление отклонениями на основе данных [16, 17]. Уровень зрелости предприятия на этом этапе предполагает наличие формализованных процессов, устойчивой производственной культуры и развитой ИТ-архитектуры. Целью фазы является согласованное управление, адаптивность и предсказуемость системы.

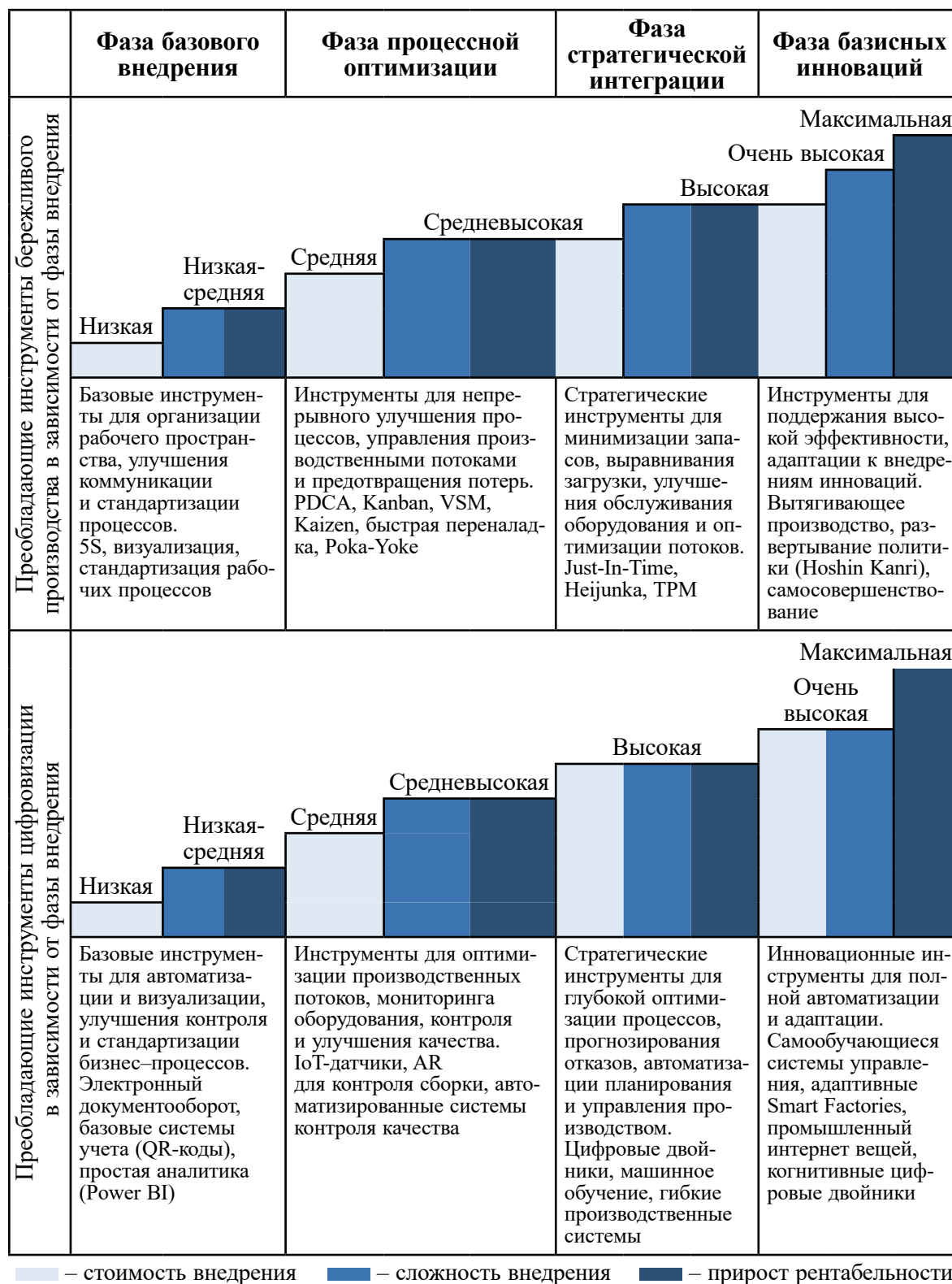


Рис. 1. Классификация инструментов бережливого производства и цифровизации по признаку – фаза внедрения

Fig. 1. Classification of lean management and digital transformation tools by the implementation stage

Фаза 4. Базисные инновации

Заключительная стадия характеризуется внедрением прорывных, трансформирующих решений, способных изменить не только эффективность, но и архитектуру бизнеса. Применяются интеллектуальные и самообучающиеся системы, киберфизические производственные среды, автономная логистика, цифровые экосистемы поставщиков и клиентов, расширенная реальность, распределенные цифровые платформы. Такие инструменты требуют зрелой цифровой среды, высоких компетенций, гибкой структуры управления и развитой организационной культуры. Эффект от их применения выходит за пределы отдельных улучшений и формирует устойчивое конкурентное преимущество на уровне бизнес-модели [18–20].

Таким образом, предложенная фазная структура отражает логику нарастающей сложности, отдачи и взаимосвязанности внедряемых инструментов. Каждая последующая фаза строится на основе достижений предыдущих и создает предпосылки для реализации следующей. Это позволяет перейти от фрагментарного внедрения к управляемой и синергетически согласованной трансформации производственной системы.

КОНЦЕПЦИЯ И СТРУКТУРА МАТРИЦЫ ЗРЕЛОСТИ ЦИФРОВОГО БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Эффективная реализация интеграционной модели цифрового бережливого производства требует формализации критериев оценки степени зрелости предприятия в части внедрения как инструментов бережливого производства, так и цифровых технологий. Для достижения данной цели разработана матрица зрелости, отражающая текущее состояние предприятия с точки зрения согласованности и глубины внедрения цифровых и бережливых решений. В отличие от существующих моделей цифровой зрелости, таких как модели Capgemini, PwC, Deloitte и др., предложенная матрица ориентирована на двумерную структуру, обеспечивающую одновременное отображение уровня развития обоих направлений трансформации.

В основе построения матрицы лежит фазный подход к классификации инструментов. Согласно данному подходу, и цифровизация, и бережливое производство внедряются четырьмя фазами: базовое внедрение, процессная оптимизация, стратегическая интеграция и базисные инновации. Это обеспечивает разбиение пространства зрелости цифрового бережливого производства на 16 уникальных состояний, по четыре уровня для каждого из направлений. Таким образом, матрица имеет размерность 4×4 , где по горизонтальной оси (ось X) откладывается уровень зрелости цифровизации, а по вертикальной (ось Y) – уровень зрелости бережливого производства.

Каждая ячейка матрицы отражает типовую конфигурацию предприятия в терминах цифрово-бережливой трансформации и включает следующие компоненты:

- характеристика состояния: описание производственной, управленческой и организационной конфигурации предприятия на данном этапе зрелости,

включая уровень стандартизации процессов, степень автоматизации и зрелость аналитической поддержки;

- ключевые барьеры: ограничивающие факторы, препятствующие переходу к следующему уровню зрелости, в том числе кадровые, технические, методологические и культурные препятствия;
- рекомендации по развитию: направления совершенствования и предложения по внедрению инструментов, развитию компетенций, структурной перестройке и синхронизации цифровых и бережливых инициатив.

Методологически матрица базируется на логике эволюционного и взаимосвязанного внедрения, где каждое последующее решение строится на базе ранее достигнутой зрелости, а также на идее архитектурной синхронизации, при которой цифровые технологии и инструменты бережливого производства не конкурируют, а усиливают друг друга. Это обеспечивает формирование синергетического эффекта, при котором достигается экспоненциальный рост показателей экономической эффективности (включая производительность труда, фондоотдачу и материалоотдачу).

Таким образом, предложенная матрица зрелости цифрового бережливого производства выполняет двойную функцию:

1. Диагностическую – позволяя оценить текущее состояние предприятия в координатах зрелости цифровизации и бережливого производства;
2. Прогностико-управленческую – предоставляя основу для планирования траектории дальнейшей трансформации, включая приоритеты развития, устранение барьеров и формирование синергетических взаимодействий между инструментами.

СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ НАПОЛНЕНИЕ МАТРИЦЫ ЗРЕЛОСТИ ЦИФРОВОГО БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Матрица зрелости цифрового бережливого производства представляет собой не только инструмент формальной оценки уровня трансформации предприятия, но и содержательную модель типовых состояний, возникающих в результате различных комбинаций зрелости цифровизации и бережливого производства (Рис. 2).

Каждая ячейка матрицы отражает конкретную организационно-технологическую конфигурацию предприятия, обусловленную уровнем внедрения инструментов соответствующих фаз.

В крайних точках матрицы фиксируются предельные состояния, отражающие наиболее контрастные сценарии трансформации (Рис. 2).

Координата (1:1) – начальное состояние. На предприятии отсутствует как зрелая цифровая архитектура, так и элементы бережливого производства. Характерна ручная или полуавтоматическая работа, фрагментарные процессы, отсутствие стандартизации и низкая прозрачность. Потенциал экономической эффективности практически не реализуется.

Координата (4:1) – цифровизация осуществляется при отсутствии бережливых основ. Внедрены ИТ-системы (MES, ERP, IoT), однако при этом

Ц БП	Базовое внедрение	Процессная оптимизация	Стратегическая интеграция	Базисные инновации
Базовое внедрение	Ручное управление, бумажный документооборот, отсутствие стандартизации и высокий уровень потерь. Цифровые инструменты не применяются. Основные барьеры: нехватка компетенций. Рекомендации: внедрить 5S, визуализацию, цифровые панели мониторинга (KPI).	Внедряются элементы цифровизации (электронный документооборот, BI), оптимизации – нет. Основные барьеры: сопротивление изменениям, нехватка специалистов по БП. Рекомендации: создать команды по БП, внедрить VSM, Digital Kanban и BI-аналитику.	Используются IoT, автоматизированный контроль качества, процессы не оптимизированы. Основные барьеры: дисбаланс Ц и БП. Рекомендации: провести анализ потерь, внедрить стандартизацию и интегрировать БП с цифровыми технологиями.	Используются Big Data, предиктивная аналитика, блокчейн, но процессы неэффективны, БП – нет. Основные барьеры: отсутствие системы БП. Рекомендации: внедрить стандартизацию, оптимизацию потоков и Heijunka для синергии БП и Ц.
Процессная оптимизация	Предприятие внедряет стандарты и PDCA, но данные собираются вручную. Нет инструментов мониторинга. Основные барьеры: низкая автоматизация, отсутствие системы мониторинга. Рекомендации: внедрить BI-аналитику, цифровые панели и RFID для учета материалов.	Сформирована базовая культура бережливого производства. Применяются разрозненные инструменты цифровизации. Основные барьеры: отсутствие интеграции данных. Рекомендации: внедрить электронный Kanban, IoT-мониторинг и контроль качества.	БП внедрено частично, процессы локально оптимизированы, цифровизация опережает. Подготовка к внедрению AI и IoT. Основные барьеры: сложность внедрения Ц в БП. Рекомендации: внедрить AI для контроля качества, предиктивного обслуживания и цифровых двойников.	БП используется, но Ц опережает его. Управление основано на IoT и AI, улучшения зависят от людей. Основные барьеры: нехватка гибкости процессов, разрыв между Ц и БП. Рекомендации: автоматизировать Kaizen, внедрить самообучающиеся PDCA и AI-оптимизацию.
Стратегическая интеграция	БП внедрено, процессы стандартизованы, ИТ работает, цифровизации – нет. Основные барьеры: медленный доступ к данным, сложность анализа. Рекомендации: внедрить BI-аналитику, цифровые двойники и автоматизированное управление.	БП внедрено, используются Kanban, Heijunka, ИТ, но Ц локальна. Процессы зависят от ручного контроля. Основные барьеры: отсутствие автоматизированного сбора данных и аналитики. Рекомендации: внедрить IoT, AI-анализ, цифровые двойники и TPM 4.0.	Высокая эффективность интеграции БП и Ц. Процессы гибкие, но остается зависимость от людей. Основные барьеры: зависимость от операторов. Рекомендации: внедрить когнитивные цифровые двойники и AI-оптимизированные системы.	БП и Ц интегрированы, используются AI и Big Data, но автономность не полная. Основные барьеры: ограниченность самообучающихся алгоритмов. Рекомендации: внедрить когнитивные цифровые двойники и управляемые AI-алгоритмы.
Базисные инновации	БП достигло совершенства, процессы оптимизированы, но нет автоматизации. Основные барьеры: нехватка цифровых инструментов. Рекомендации: автоматизировать контроль, внедрить предиктивную аналитику и цифровые двойники.	БП внедрено на высшем уровне, но Ц развивается точно. Данные не используются в реальном времени. Основные барьеры: фрагментарность ИТ, медленные решения. Рекомендации: внедрить AI-SCM, IIoT и интеллектуальный контроль.	БП и Ц интегрированы, производство эффективно, но AI не автономен. Основные барьеры: ограниченность самообучающихся алгоритмов. Рекомендации: внедрить когнитивные цифровые двойники и самоуправляемые AI-алгоритмы.	Предприятие автономно, AI управляет процессами. Основные барьеры: зависимость от цифровых технологий, необходимость кибербезопасности. Рекомендации: развивать кибербезопасность, резервные системы, обновлять алгоритмы.
	Начальный уровень взаимодействия	Фрагментированный уровень взаимодействия	Трансформационный уровень взаимодействия	Гармонизированный уровень взаимодействия

Рис. 2. Матрица зрелости цифрового бережливого производства

Fig. 2. Digital lean management maturity matrix

наблюдается низкий уровень стандартизации, слабая управляемость и высокая нестабильность процессов. Отсутствие бережливой культуры препятствует эффективному использованию цифровых данных. Имеет место риск автоматизации неэффективных процессов, что приводит к росту издержек и фрагментации управления.

Координата (1:4) – зрелое бережливое производство при отсутствии цифровой поддержки. Производственные процессы стандартизованы, применяется VSM, 5S, TPM и другие инструменты, но отсутствуют системы сбора, анализа и интерпретации данных. Потенциал контроля и масштабирования улучшений ограничен.

Координата (4:4) – целевое интеграционное состояние. Предприятие располагает высокоразвитой архитектурой цифрово-бережливого управления. Внедрены системы интеллектуального мониторинга, цифровые двойники, аналитические платформы, верифицированные стандартами бережливого производства. Достигается эффект самонастраиваемой, адаптивной производственной системы с устойчивым приростом экономических показателей.

Между этими крайними точками расположены промежуточные состояния, отражающие реальные конфигурации предприятий, например:

(2:3) – предприятие активно применяет бережливые инструменты на уровне стратегической интеграции, однако цифровизация ограничивается базовыми решениями (электронные таблицы, разрозненные ИТ-системы, ручной сбор данных). Это ограничивает возможности для аналитики и принятия обоснованных управленческих решений.

(3:2) – внедрены цифровые средства визуализации, MES и BI, но при этом отсутствует потоковое мышление, стандартизация и системный контроль по бережливым подходам. В результате цифровые данные собираются, но используются фрагментарно, что снижает управляемость и отдачу от инвестиций.

Такая детализация ячеек позволяет формировать диагностическую карту зрелости, выявлять неравномерность трансформации, оценивать степень согласованности направлений и формулировать обоснованные рекомендации по дальнейшему развитию.

Матрица зрелости цифрового бережливого производства, может быть использована не только как инструмент диагностики, но и как основа для стратегического планирования развития производственной системы. Ее двумерная структура позволяет оценивать характер и степень интеграции цифровых и бережливых инструментов, а также прогнозировать последствия несбалансированного или несогласованного внедрения.

Одним из ключевых практических применений матрицы является формализация возможных траекторий движения предприятия в ячейках зрелости. В зависимости от исходного положения и организационных приоритетов, выделяются три базовых сценария развития:

1. Равномерная траектория (по диагонали от 1:1 к 4:4) Это наиболее предпочтительный и сбалансированный путь, при котором развитие

- бережливого производства и цифровизации осуществляется синхронно, с учетом их взаимосвязанности и последовательности фаз. На каждой стадии создаются предпосылки для следующей, обеспечивается нарастающий синергетический эффект и минимизируются организационные дисбалансы. Такой сценарий требует наличия координирующей структуры трансформации и архитектурного проектирования внедрения.
2. Сценарий с приоритетом бережливого производства (движение со смещением в сторону 4:1) Данный сценарий реализуется в условиях, когда предприятие сталкивается с высокой долей ручного труда, значительными потерями, нестабильными процессами и слабой дисциплиной исполнения. В таких условиях целесообразно начинать с формирования стандартизированной среды, визуального контроля, потокового мышления и устранения отклонений. После стабилизации процессов и достижения базовой эффективности возможно подключение цифровых решений, обеспечивающих масштабирование, мониторинг и предиктивную аналитику. Недостатком этого подхода является возможная задержка в реализации цифровых инициатив.
 3. Сценарий с приоритетом цифровизации (движение со смещением в сторону 1:4) Характерен для предприятий с высокой технической оснащенностью, высокой долей автоматизации или ориентированных на работу в высокотехнологичных сегментах. Здесь цифровые технологии (MES, IoT, цифровые двойники) внедряются в первую очередь для решения задач управления качеством, гибкости и интеграции данных. Однако при отсутствии предварительной стандартизации, потокового управления и вовлеченности персонала такие решения часто сталкиваются с проблемами интерпретации данных, фрагментацией системы и высокой зависимостью от ИТ-специалистов. Приоритет цифровизации без организационной зрелости может привести к автоматизации неэффективных процессов и росту издержек.

Выбор сценария определяется отраслевыми характеристиками, уровнем зрелости процессов, кадровым потенциалом, доступными ресурсами и стратегическими целями предприятия. В то же время равномерная траектория по-прежнему остается предпочтительной с точки зрения обеспечения устойчивой синергии и минимизации рисков.

Применение матрицы зрелости также позволяет выявить и систематизировать риски, связанные с несогласованным или несинхронным внедрением инструментов цифровизации и бережливого производства. При отсутствии координации между программами трансформации возникает опасность формирования параллельных, но несвязанных между собой управленческих контуров, что приводит к неэффективности и даже деградации производственной системы.

К числу наиболее типичных рисков относится:

Несогласованность инициатив. Проекты по цифровизации и бережливому производству развиваются независимо, с различными приоритетами и на разных уровнях управления. Это приводит к конфликту целей, дублированию функций,

увеличению нагрузки на персонал и снижению общей отдачи от программ. Результатом становится утрата эффекта взаимного усиления и расфокусировка трансформационных усилий.

Ресурсное рассредоточение. При одновременном, но неинтегрированном запуске цифровых и бережливых инициатив наблюдается перегрузка управленческих и производственных команд, снижение вовлеченности и увеличение операционных затрат. Отсутствие приоритетов и архитектурной логики приводит к хаотичному распределению усилий, особенно в условиях ограниченных ресурсов.

Стратегическая фрагментация. Возникает в случае, когда цифровизация и бережливое производство трактуются как изолированные направления, без формирования единой архитектурной концепции. В результате трансформация приобретает разрозненный, тактический характер, не достигая долгосрочных целей. Нарастают внутренние противоречия, ослабляется стратегическое управление, снижается рентабельность инвестиций.

Неполная реализация потенциала ЦБП. Внедряемые цифровые и бережливые инструменты не поддерживают и не усиливают друг друга, функционируя, как отдельные модули. В таких условиях невозможно достичь системного эффекта, основанного на архитектурной интеграции. Потенциал цифрового бережливого производства как источника экспоненциального роста производительности и рентабельности остается нереализованным.

Особую значимость данные риски приобретают на третьей и четвертой фазах зрелости, когда от предприятия требуется не только внедрение сложных решений, но и их согласованная интеграция в рамках единой производственной архитектуры. В этих условиях формируется синергетический эффект, не как сумма локальных улучшений, а как эмерджентное качество системы, обеспечивающее ее адаптивность, интеллектуальность и устойчивость к изменениям.

Таким образом, матрица зрелости цифрового бережливого производства выступает не только инструментом диагностики, но и средством управления стратегической целостностью трансформации, позволяя выстраивать сбалансированную и согласованную траекторию цифрово-бережливого развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные вызовы, стоящие перед предприятиями машиностроительного сектора, включая стратегически значимые направления такие как вагоностроение, судостроение, авиастроение требуют интеграции гибких производственных систем с интеллектуальными цифровыми решениями. В условиях цифровой трансформации особую актуальность приобретает необходимость системной координации цифровизации и организационных изменений на основе принципов бережливого производства.

В рамках настоящего исследования предложена концептуально и методически обоснованная матрица зрелости цифрового бережливого производства, предназначенная для оценки, планирования и управления интеграцией цифровых и бережливых подходов. В отличие от традиционных моделей зрелости,

ориентированных преимущественно на цифровые аспекты, разработанная матрица учитывает двумерную структуру зрелости как цифровизации, так и бережливого производства, включая их поэтапное развитие по четырем фазам: базовое внедрение, процессная оптимизация, стратегическая интеграция, базисные инновации.

Каждая из 16 ячеек матрицы отражает типовое состояние предприятия, соответствующее различным комбинациям зрелости, и сопровождается аналитическим описанием, выявлением барьеров и рекомендациями по развитию. Такой подход позволяет использовать матрицу не только как инструмент диагностики текущего состояния, но и как основу для планирования стратегически согласованных траекторий трансформации.

Особое внимание в работе уделено идентификации рисков несогласованного внедрения цифровых и бережливых инициатив, что критично для высокотехнологичных производств, таких как вагоностроительные предприятия, находящиеся на стыке машиностроения и цифровой логистики. Показано, что фрагментарная цифровизация без организационной зрелости, так же, как и изолированное применение бережливых методов без аналитической поддержки, может привести к автоматизации неэффективных процессов, росту издержек и снижению управляемости.

Предложенный подход в первую очередь будет востребован под задачи цифрово-бережливой трансформации предприятий транспортного машиностроения, где требуется высокая степень точности, гибкости, предсказуемости и рентабельности при одновременной модернизации инфраструктуры и логистических процессов.

Направления дальнейших исследований включают:

- практическую верификацию матрицы зрелости цифрового бережливого производства;
- развитие цифрового инструментария для оценки зрелости на основе предложенной модели;
- исследование связи зрелости цифрового бережливого производства с устойчивостью и адаптивностью производственных систем.

Таким образом, представленная матрица зрелости цифрового бережливого производства закладывает методологическую и прикладную основу для стратегического управления трансформацией как машиностроительных производств, так и промышленных предприятий в целом и может служить ориентиром для повышения их технологической, экономической и организационной эффективности в условиях цифровой экономики.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ху Т. Обзор национальных стратегий перехода к Индустрии 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 3(22). С. 28–38. doi: 10.26730/2587-5574-2022-3-28-38
2. Manish. What Is Digital Lean Or Lean 2.0 In VUCA world? Learn Transformation [internet]. 24 авг. 2023. Дата обращения: 04.05.2025. Режим доступа: <https://learntransformation.com/lean-2-0/>
3. Powell D.J., Romero D. Digital Lean Manufacturing: A Literature Review. In: IEEE Int. Conf. on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM); 13–16 Dec. 2021; Singapore. IEEE, 2021. doi: 10.1109/IEEM50564.2021.9673032
4. Кох Л.В., Кох Ю.В. Цифровая трансформация производственной системы в судостроении: проблемы и способы их решения // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Эконом. науки. 2019. Т. 12, № 4. С. 78–89. doi: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-107-123 EDN: BVGBAN
5. Palkina E.S. Risks of digital transformation of transport logistics in priority market segments // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 371. P. 04047. doi: 10.1051/e3sconf/202337104047 EDN: TYGRVQ
6. Глухов В.В., Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Цифровое стратегирование промышленных систем на основе устойчивых экоинновационных и циркулярных бизнес-моделей в условиях перехода к Индустрии 5.0 // Экономика и управление. 2022. Т. 28, № 10. С. 1006–1020. doi: 10.35854/1998-1627-2022-10-1006-1020 EDN: JDJSWV
7. Шафиева Э.Т., Хачидогов Р.А. Основные этапы цифровой трансформации современной национальной экономики // Журн. приклад. исслед. 2021. Т. 5, № 2. С. 142–147. doi: 10.47576/2712-7516_2021_5_2_142 EDN: GUYNVU
8. Rossini M., Dafne Cifone F., Kassem B., Costa F., Portioli-Staudacher A. Being lean: how to shape digital transformation in the manufacturing sector // Journal of Manufacturing Technology Management. 2021. Vol. 32, № 9. P. 239–259. doi: 10.1108/JMTM-12-2020-0467 EDN: UXPVII
9. Бельш К.В. Классификация основных методов и инструментов бережливого производства // Вестн. РУДН. Сер. Экономика. 2016. № 1. С. 70–77.
10. Сахнович Т.А. Инструменты бережливого производства Lean production tools. В кн.: Наука – образованию, производству, экономике: сб. материалов 19-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2022. С. 150–155.
11. Валинурова Л.С., Мазур Н.З. Цифровой инструментарий управления предприятиями // Инновации и инвестиции. 2023. № 6. С. 459–464.
12. Колычев В.Д., Белкин И.О. Интеграция бережливого производства и цифровых технологий в управление операционной деятельностью промышленных предприятий // Изв. высш. учеб. заведений. Сер.: Экономика, финансы и управление производством. 2023. № 3 (57). С. 45–58. doi: 10.6060/ivcofin.2023573.653 EDN: UAWLCH
13. Глухов В.В., Балашова Е.С. Организация производства. Бережливое производство: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007.
14. Флек М.Б., Угнич Е.А. Управление предприятием в условиях цифровой трансформации. Ростов на Дону: ДГТУ, 2020.
15. Treviño-Elizondo B.L., García-Reyes H., Peimbert-García R.E. A maturity model to become a smart organization based on lean and industry 4.0

- synergy // Sustainability. 2023. Vol. 15. doi: 10.3390/su151713151 EDN: NRJWUQ
16. Vaz N. Digital Business Transformation. How Established Companies Sustain Competitive Advantage from Now to Next. Wiley, 2021.
 17. Боровков А.И., Гамзикова А.А., Кукушкин К.В., Рябов Ю.А. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад. СПб.: Политех-Пресс, 2019.
 18. Digital Transformation in Industry: Trends, Management, Strategies / eds. V. Kumar, J. Rezaei, V. Akberdina, E. Kuzmin. Lecture Notes in Information Systems and Organisation. Vol. 44. Cham: Springer, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-73261-5 EDN: BNTNXN
 19. Кобзев В.В., Бабкин А.В., Скоробогатов А.С. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности // *π-Economy*. 2022. Т. 15, № 5. С. 7–27. doi: 10.18721/JE.15501 EDN: NUNQPQ
 20. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель // *Экон. возрождение России*. 2021. № 4 (70). С. 39–62. doi: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62 EDN: TCYAIR

REFERENCES

1. Khu T. National strategies for transition to Industry 5.0 (Obzor natsional'nykh strategii perekhoda k Industrii 5.0). *Economics and Innovation Management*. 2022;(3):28–38. (In Russ.) doi: 10.26730/2587-5574-2022-3-28-38
2. Manish. What Is Digital Lean Or Lean 2.0 In VUCA world? Learn Transformation [Internet]. 2023 Aug 24 Accessed: 2025 May 4. Available from: <https://learntransformation.com/lean-2-0/>
3. Powell DJ, Romero D. Digital Lean Manufacturing: A Literature Review. In: *Proc. IEEE Int. Conf. on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM); 2021 Dec 13–16; Singapore*. IEEE; 2021. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/357968752>
4. Kokh LV, Kokh YV. Digital transformation of the production system in shipbuilding: problems and solutions. *Science and Technology Bulletin of SPbPU. Economics*. 2019;12(4):78–89. (In Russ.) doi: 10.21209/2227-9245-2021-27-6-107-123 EDN: BVGBAN
5. Palkina ES. Risks of digital transformation of transport logistics in priority market segments. *E3S Web of Conferences*. 2023;371:04047. doi: 10.1051/e3sconf/202337104047 EDN: TYGRVQ
6. Glukhov VV, Babkin AV, Shkarupeta EV. Digital strategizing of industrial systems based on sustainable eco-innovative and circular business models during the transition to Industry 5.0. *Economics and Management*. 2022;28(10):1006–1020. (In Russ.) doi: 10.35854/1998-1627-2022-10-1006-1020 EDN: JDJSWV
7. Shafieva ET, Khachidogov RA. Main stages of digital transformation of the national economy. *Journal of Applied Research*. 2021;5(2):142–147. (In Russ.) doi: 10.47576/2712-7516_2021_5_2_142 EDN: GUYNVU
8. Rossini M, Cifone FD, Kassem B, Costa F, Portioli-Staudacher A. Being lean: how to shape digital transformation in the manufacturing sector. *J Manuf Technol Manag*. 2021;32(9):239–259. doi: 10.1108/JMTM-12-2020-0467 EDN: UXPVYIY

9. Belysh KV. Classification of the main methods and tools of lean production. *RUDN Journal of Economics*. 2016;(1):70–77.
10. Sakhnovich TA. Lean production tools. In: *Proceedings of the 19th Int. Sci. and Tech. Conf.* Minsk: BNTU; 2022. p. 150–155. (In Russ.)
11. Valinurova LS, Mazur NZ. Digital tools for enterprise management. *Innovations and Investments*. 2023;(6):459–464. (In Russ.)
12. Kolychev VD, Belkin IO. Integration of lean production and digital technologies in the operational management of industrial enterprises. *Higher Education Institutions Proceedings. Economics, Finance and Production Management*. 2023;3(57):45–58. (In Russ.) doi: 10.6060/ivecofin.2023573.653 EDN: UAWLCH
13. Glukhov VV, Balashova ES. *Production organization. Lean Production: Textbook*. St. Petersburg: Polytechnic University Press; 2007. (In Russ.)
14. Flek MB, Ugnich EA. *Enterprise management in the context of digital transformation*. Rostov-on-Don: DSTU; 2020. (In Russ.)
15. Treviño-Elizondo BL, García-Reyes H, Peimbert-García RE. A maturity model to become a smart organization based on lean and industry 4.0 synergy. *Sustainability*. 2023;15:13151. doi: 10.3390/su151713151 EDN: NRJWUQ
16. Vaz N. *Digital Business Transformation. How Established Companies Sustain Competitive Advantage from Now to Next*. Wiley; 2021.
17. Borovkov AI, Gamzikova AA, Kukushkin KV, Ryabov YA. *Digital twins in high-tech industry: Summary report*. St. Petersburg: Politek-Press; 2019. (In Russ.)
18. Kumar V, Rezaei J, Akberdina V, Kuzmin E, eds. *Digital Transformation in Industry: Trends, Management, Strategies. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. Vol. 44. Cham: Springer; 2021. doi: 10.1007/978-3-030-73261-5 EDN: BNTNXN
19. Kobzev VV, Babkin AV, Skorobogatov AS. Digital transformation of industrial enterprises in the new reality. *π-Economy*. 2022;15(5):7–27. (In Russ.) doi: 10.18721/JE.15501 EDN: NUNQPQ
20. Babkin AV, Shkarupeta EV, Plotnikov VA. Intellectual cyber-social ecosystem of Industry 5.0: concept, essence, model. *Economic Revival of Russia*. 2021;(4):39–62. (In Russ.) doi: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62 EDN: TCYAIR

Сведения об авторах:

Вагин Михаил Сергеевич, соискатель;

eLibrary SPIN: 3582-4226; ORCID: 0009-0002-3833-4623;

E-mail: vaginms@yandex.ru

Палкина Елена Сергеевна, д-р экон. наук, доцент, профессор;

eLibrary SPIN: 8447-6777; ORCID: 0000-0002-4702-3512;

E-mail: elena_palkina@hotmail.com

Information about the authors:

Mikhail S. Vagin, Applicant;

eLibrary SPIN: 3582-4226; ORCID: 0009-0002-3833-4623;

E-mail: vaginms@yandex.ru

Elena S. Palkina, Dr. Sci. (Economics), Associated Professor, Professor;

eLibrary SPIN: 8447-6777; ORCID: 0000-0002-4702-3512;

E-mail: elena_palkina@hotmail.com

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689331>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© **Е.М. Волкова**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПАССАЖИРСКИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Цель. Систематизация факторов, определяющих развитие рынка пассажирских перевозок, а также разработка рекомендаций по развитию пассажирских транспортных услуг железнодорожного транспорта на основе количественной оценки и ранжирования влияющих факторов внешней среды.

Материалы и методы. Для выявления и оценки влияния внешних факторов на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом используется метод PEST-анализа, включающий статистический анализ данных, а также метод экспертных оценок. Расчеты и оценки проводятся на базе открытых данных и официальной статистики Росстата, Минэкономразвития и Минфина, Банка России, а также годовых отчетов ОАО «РЖД» и АО «ФПК».

Результаты. Систематизированы факторы внешней среды, влияющие на железнодорожные пассажирские перевозки. Разработаны рекомендации в отношении усиления положительного и нивелирования негативного влияния выделенных факторов.

Заключение. Полученные результаты углубляют теорию экономики транспорта в части идентификации происходящих изменений и имеющихся особенностей развития на рынке пассажирских железнодорожных перевозок. Они могут найти практическое применение в исполнительных органах государственной власти, регулирующих транспортную отрасль, а также в железнодорожных пассажирских компаниях в процессах разработки и реализации корпоративных стратегий развития.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; рынок транспортных услуг; PEST-анализ; пассажирские перевозки; национальная транспортная система.

Как цитировать:

Волкова Е.М. Оценка влияния внешних факторов на пассажирские железнодорожные перевозки // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 450–459. doi: 10.17816/transsyst689331

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© **E.M. Volkova**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

ASSESSMENT OF EXTERNAL IMPACT ON RAILWAY PASSENGER TRANSPORTATION

AIM: The work aimed to create a taxonomy of factors affecting the development of the passenger transportation market and develop guidelines on the improvement of railway passenger transportation services based on a quantitative assessment and ranking of the external contributors.

METHODS: To identify and assess the impact of external factors on railway passenger transportation, the PEST analysis is used, including the statistical analysis and expert opinions. Calculations and assessments are based on open data and official statistics provided by Rosstat, the Ministry of Economic Development, the Ministry of Finance, the Bank of Russia, and annual reports of Russian Railways JSC and Federal Passenger Company JSC.

RESULTS: We developed the taxonomy of environmental factors affecting railway passenger transportation and guidelines on enhancing the positive and mitigating the negative impact of the identified factors.

CONCLUSION: The study deepens the theory of transport economics by identifying the ongoing changes and existing special developments in the railway passenger transportation market. It may be used by executive authorities regulating the transport industry and railway passenger companies to develop and implement corporate development strategies.

Keywords: railway transport; transport services market; PEST analysis; passenger transportation; national transport system.

To cite this article:

Volkova EM. Assessment of external impact on railway passenger transportation. *Modern Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):450–459. doi: 10.17816/transsyst689331

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий период стратегии развития транспортных компаний целесообразно актуализировать с учетом происходящих изменений во внешней среде. Многие исследователи отмечают значительное влияние политических и экономических факторов на состояние рынка транспортных услуг. Например, Н.А. Журавлева [1] выделяет тенденцию смещения цепей поставок с европейского направления на восточное. Описание структурных сдвигов грузопотоков, следующих через порты Балтики, можно найти в работе И.М. Гулого и С.Л. Шатрова [2], а также в работе Т.П. Сацук и С.А. Жутяевой [3]. Вместе с тем, Гулый И.М. анализирует потенциал восстановления российского рынка контейнерной логистики и выделяет факторы, положительно влияющие на увеличение объема перевозок [4]. Л.М. Чеченова подчеркивает, что происходящие изменения на рынке приводят к необходимости ускоренного внедрения инновационных логистических решений, в первую очередь основанных на цифровых технологиях взаимодействия с клиентом и обеспечивающих повышение качества транспортного обслуживания [5].

Ученые – отраслевые экономисты на транспорте подчеркивают важность учета происходящих структурных трансформаций рынка транспортных услуг в процессах управления. В частности, в публикации Г.В. Бубновой, В.А. Подсорина и Е.Н. Овсянниковой [6] предлагается корректировка тарифной политики в зависимости от прогнозируемых изменений рынка, влияющих на структуру расходов транспортной организации. Терешина Н.П., Дмитриева Е.В., Маслова А.П. [7] на основе анализа рынка грузовых перевозок выделяют ключевые факторы, влияющие на развитие и управление в организациях различных видов транспорта.

Несмотря на значительное число публикаций, анализирующих причины и последствия структурных трансформаций рынка транспортных услуг, отсутствуют актуальные исследования, направленные на выявление и оценку факторов, влияющих на российский рынок пассажирских перевозок дальнего следования. На восполнение указанного пробела нацелена настоящая статья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления и оценки влияния внешних факторов на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом используется метод PEST-анализа. Он предполагает выявление, систематизацию, группировку и количественную оценку факторов, влияющих на объект исследования, с целью их последующего ранжирования и выделения наиболее значимых. В отношении последних затем разрабатываются рекомендации по усилению положительного или нейтрализации негативного влияния. Факторы подразделяются на политические (Р), экономические (Е), социальные (S) и технологические (Т).

Для выявления факторов используется анализ показателей официальной статистики Росстата, Минэкономразвития и Минфина, Банка России, а также годовых отчетов ОАО «РЖД» и АО «ФПК». Факторы являются значимыми для всей сети российских железных дорог.

Для оценки и последующего ранжирования факторов применяется метод экспертных оценок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1) СИСТЕМАТИЗИРОВАННЫ ФАКТОРЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ.

Политико-правовые факторы могут быть связаны с изменением режима нормативно-правового регулирования транспортной отрасли. Так, на динамику числа пассажиров, перевезенных железнодорожным транспортом, могут оказать влияние: 1) принятые Правительством РФ и ФАС решения об изменении тарифов на перевозку пассажиров в регулируемом сегменте, 2) введение особого режима тарификации и налогообложения инфраструктуры ВСМ, 3) изменение Налогового кодекса РФ в части налогообложения транспортных организаций.

Важнейшие из **экономических факторов**, оказывающие прямое и косвенное воздействие на объемы спроса на услуги компании, следующие:

1. ВВП в целом и на душу населения. С одной стороны, динамика ВВП отражается на доходах домохозяйств и их транспортной активности, с другой стороны, от характера и темпов изменения ВВП на душу населения зависит спрос на труд, повышение которого ведет к росту спроса на перевозки. В соответствии с прогнозами, представленными официальными ведомствами (Банк России, Министерство экономического развития), в ближайшие три года российскую экономику ожидает стабильный, но незначительный рост на уровне 2,5–3% в год.

2. Социальная дифференциация. Различия в доходах порождают различные потребительские предпочтения, в частности, при выборе вида транспорта. Отток пассажиров на авиатранспорт может быть вызван не только определенными конкурентными преимуществами воздушных перевозок, но и ростом доходов населения, сопровождаемым снижением доходной дифференциации. Кроме того, изменения в доходах могут определить увеличение объемов пассажирских железнодорожных перевозок по новым маршрутам: по предполагаемым к строительству и эксплуатации высокоскоростным линиям (например, ВСМ Москва-Санкт-Петербург).

Напротив, при наличии роста имущественной дифференциации будет сохраняться широкий круг потребителей, предпочитающих пользоваться услугами железнодорожного пассажирского транспорта, особенно в регулируемом сегменте.

Социальная дифференциация остается относительно устойчивой в последние годы, несколько снижаясь в кризисные периоды. Индекс Джини за последние 10 лет изменялся от 0,398 до 0,408, децильный коэффициент - от 6,6 до 7,1. Вероятно, текущий уровень социальной дифференциации существенно меняться не будет.

3. Темпы инфляции, несмотря на пиковый подъем 2024 года до 9,1%, прогнозируются на ближайшие годы в пределах 4% – 4,5%.

4. Уровень автомобилизации населения. Динамика этого процесса оказывает значительное воздействие на объем спроса на рынке железнодорожных

пассажирских перевозок. Сокращение емкости рынка автомобилей в последние 5 лет ведет к удорожанию частных автомобилей и замедлению этого процесса.

5. Ситуация на рынке труда, территориальное разделение труда, уровень безработицы. Прогнозируемая стабилизация экономики Российской Федерации может обеспечить рост спроса на рабочую силу вкупе с расширением географических границ региональных рынков труда. Создание дополнительных рабочих мест в «точках роста» экономики – крупных городах – может увеличить мобильность населения и стимулировать рост регулярных маятниковых перевозок от периферии агломерации к ее специализированным зонам ядра.

6. Инвестиционный климат в транспортной отрасли. Обновление подвижного состава железных дорог является значимым фактором в конкурентной борьбе на рынке пассажирских перевозок. Плановое обновление подвижного состава для перевозок дальнего следования может привести к росту спроса на пассажирские железнодорожные перевозки.

7. Особенности региональных рынков пассажирских перевозок на полигоне строительства и эксплуатации ВСМ Москва–Санкт-Петербург. Полигон строительства и эксплуатации ВСМ Москва–Санкт-Петербург включает в себя регионы, различные по численности и плотности населения, половозрастной структуре, уровню благосостояния и транспортной подвижности, уровню развития различных видов транспорта и конкуренции между ними. Это диктует необходимость разработки прогноза спроса на высокоскоростные перевозки с учетом выделенных региональных факторов, а также проводимой транспортной политики регионов.

Социокультурные факторы, влияющие на объем пассажирских перевозок, следующие:

1. Динамика численности населения. Динамика численности населения оказывает прямое непосредственное влияние на величину и структуру спроса на пассажирские перевозки (соотношение долей регулируемого и дерегулированного сегментов в дальнем следовании). Следует отметить, что по РФ к 2030 г. население РФ может сократиться более, чем на 3 млн. чел., согласно прогнозу Росстата (без учета численности населения новых территорий) за счет естественной убыли, которая не компенсируется миграционным приростом.

2. Развитие маятниковой миграции и новых форм расселения. Структура спроса на пассажирские железнодорожные перевозки различается как по социальному составу потребителей, так и по целям поездки. Маятниковая миграция включает регулярные поездки населения из одного населенного пункта (места жительства) в другой. К ней относятся массовые трудовые, учебные, бытовые, культурные и рекреационные поездки определенной части трудоспособного населения, проживающих в городах и поселениях агломерации и работающих в центре города-«ядра». Росту спроса может способствовать ввод в действие скоростных пригородных электропоездов близ крупных агломераций, а также ВСМ (в частности, на маршруте Москва–Санкт-Петербург).

3. Возрастной и социальный состав населения. Значительную часть доходов пассажирских железнодорожных компаний составляют доходы, получаемые от обслуживания пассажиров трудоспособного возраста. В связи с этим следует принять во внимание данные прогноза НИУ ВШЭ, согласно которым к 2030 г. численность рабочей силы в РФ сократится более, чем на 1,5 млн. чел. Кроме того, отмечается старение рабочей силы, в том числе в связи с повышением пенсионного возраста.

4. Возможности развития туризма. Высокий потенциал развития туризма в регионах РФ создает возможности привлечения потребителей транспортных услуг на железнодорожный транспорт. Это касается маршрутов выходного дня и оздоровительных, а также, что крайне важно, туристических поездок по различным городам России (как старинным—Новгород, Псков и др., так и по пригородам Санкт-Петербурга и Москвы). Вследствие закрытия ряда южных аэропортов, развития динамического ценообразования и маркетинговых программ для пассажиров стабилизируется доля железнодорожного транспорта в дальнем следовании, в том числе с учетом потенциала развития внутреннего туризма.

Технологические факторы, влияющие на объем пассажирских перевозок, следующие.

1. Развитие информационных и коммуникационных технологий. Развитие и проникновение интернета, мобильных устройств во все значимые сферы жизни человека, повышение их доступности предполагают неизбежный переход на их активное использование в деятельности любой транспортной компании для сохранения ее конкурентной позиции на рынке.

2. Время поездки. Для пассажира важна скорость с учетом ценности времени. В этой связи значительную трансформацию рынка пассажирских перевозок в Центральной России вызовет ввод в эксплуатацию ВСМ Москва – Санкт-Петербург. Для обеспечения мультимодальности перевозок важно создать удобные транспортно-пересадочные узлы. Речь, в частности, идет и о стыковке маршрутов пригородного железнодорожного транспорта с расписанием ВСМ и аэропортов.

3. Уровень развития альтернативных видов транспорта. За последние 10–15 лет активно развиваются автобусный и воздушный виды транспорта. В частности, строятся платные автомагистрали, обновляется парк автотранспортных средств, развиваются услуги лоукостеров, что в совокупности расширяет потенциальную емкость рынка и стимулирует спрос пассажиров на услуги разного класса качества. Благодаря этому автомобильный и воздушный виды транспорта успешно конкурируют с железнодорожным по таким параметрам, как цена и качество, а также скорость предоставления услуги.

4. Автоматизация и роботизация бизнес-процессов. Постепенно мобильные приложения и автоматы по продаже билетов заменяют кассиров, а поезда управляются «в одно лицо» с дальнейшей перспективой развития беспилотного движения на базе систем поддержки и помощи машинисту. Происходит автоматизация функций административно-управленческого

персонала (учет, анализ, управление персоналом, бизнес-процессами), в том числе с использованием систем искусственного интеллекта.

5. Уровень технологического развития. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 г., а также региональные транспортные стратегии предусматривают цифровую и низкоуглеродную трансформацию транспортной отрасли и ускоренное внедрение новых технологий.

6. Уровень энергоемкости и энергоэффективности деятельности. Значительную долю в себестоимости услуг железнодорожного транспорта составляют затраты на электроэнергию. В этой связи, в частности, в ОАО «РЖД» разработаны и реализуются инвестиционные проекты (такие, как «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте»), предусматривающие оборудование объектов инфраструктуры и подвижного состава ресурсосберегающими технологиями, использование систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии, выполнение мероприятий по выявлению и своевременному устранению предотказных состояний с целью снижения энергопотребления и бережного расходования энергии.

2) НА ОСНОВЕ РАНЖИРОВАНИЯ ОТОБРАНЫ КРИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ИМЕЮЩИЕ ПЕРВООЧЕРЕДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ.

Степень влияния каждого фактора на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом предлагается оценивать по 3-балльной шкале (от 1 до 3) по нарастанию степени влияния выделенных ранее факторов.

Вероятность изменения каждого фактора предлагается оценивать по 5-балльной шкале (от 1 до 5) по нарастанию вероятности изменения.

Средняя оценка выводится с использованием средней арифметической простой по оценкам всех экспертов. Далее для получения оценки с поправкой на вес средняя оценка делится на итоговую сумму оценок и умножается на значение в столбце «Влияние фактора».

Форма для оценки значимости и степени влияния каждого фактора на пассажирские перевозки железнодорожным транспортом представлена в Табл. 1.

Оценка того или иного фактора в последнем столбце Табл. 1 позволяет понять, насколько он важен для выстраивания стратегического и тактического управления компанией. Чем выше оценка, тем важнее учитывать данный фактор: проводить мероприятия по усилению его положительного или нивелированию возможного отрицательного влияния.

Все факторы с итоговой оценкой их влияния предлагается сводить в Табл. 2.

Данный подход позволит оперативно реагировать на изменения рассматриваемых в статье факторов, а также вводить новые актуальные, и обеспечит динамичность управления отраслью пассажирских железнодорожных перевозок.

Таблица 1. Форма для оценки значимости и степени влияния факторов**Table 1.** Table for assessment of the significance and degree of influence of factors

Описание (указание) фактора	Влияние фактора	Экспертная оценка			Средняя оценка	Оценка с поправкой на вес
		Эксперт 1	...	Эксперт n		
Приводятся последовательно факторы	Оценивается по 3-балльной шкале (от 1 до 3) по нарастанию степени влияния выделенных ранее факторов	Вероятность изменения каждого фактора предлагается оценивать по 5-балльной шкале (от 1 до 5) по нарастанию вероятности изменения			Выводится с использованием средней арифметической простой по оценкам всех экспертов	Средняя оценка делится на итоговую сумму оценок и умножается на значение в столбце «Влияние фактора»

Таблица 2. Форма для представления результатов ранжирования факторов**Table 2.** Form for presenting the results of factor ranking

Описание (указание) фактора	Значимость
Технологические*	Указывается для каждого фактора
Экономические	
Социально-культурные	
Политико-правовые	

*Представлены факторы, согласно выполняемому исследованию

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье выделены факторы внешней среды, оказывающие значительное влияние на рынок пассажирских перевозок дальнего следования. К ним могут быть отнесены экономические факторы, связанные с платежеспособным спросом населения и мобильностью – темпы инфляции, динамика доходов населения и их дифференциация. В отношении этих факторов целесообразно сохранение регулируемого сегмента в перевозках дальнего следования, а также дальнейшее развитие маркетинговых инициатив АО «ФПК», нацеленных на стимулирование спроса. Важным социокультурным фактором являются возможности развития внутреннего туризма. Усиление его положительного влияния на привлекательность железнодорожного транспорта возможно посредством расширения географии следования туристических пассажирских поездов, запуска тематических и экскурсионных пригородных маршрутов. Драйверами технологического развития пассажирского транспорта становятся скоростные перевозки и цифровые технологии. В отношении этих факторов рекомендуется развитие скоростных маршрутов и цифрового профиля пассажира. Однако ввод в эксплуатацию особых линий (таких, как ВСМ Москва–Санкт-Петербург) целесообразно сопровождать рассмотрением и введением мер

государственной поддержки компаний-операторов перевозок; обеспечивать привлечение пассажиров на новые маршруты через маркетинговые инструменты (реклама и популяризация высокоскоростных перевозок, распространение программы лояльности «РЖД-бонус» на такие поездки, использование системы динамического ценообразования, предоставление сезонных скидок к цене билета и др.).

В заключение отметим, что компании пассажирских железнодорожных перевозок дальнего следования действуют на конкурентном рынке транспортных услуг с преобладанием межвидовой конкуренции, поэтому отслеживание суммарных тенденций в динамике и обеспечение соответствия им является одной из важнейших задач железнодорожного транспорта.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declare that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлева Н.А., Крюкова Т.А., Новикова Е.В. Расчет показателей объемов и структуры перевозок грузов железнодорожным транспортом в границах Северо-Западного полигона ОАО «РЖД» в условиях смещения цепей поставок // Инновационные транспортные системы и технологии. 2024. Т.10, № 4. С. 630–643. doi: 10.17816/transsyst641656 EDN: OGPMYJ
2. Гулый И.М., Шатров С.Л. Структурные сдвиги в поставках грузов через порты Балтийского бассейна и долгосрочный прогноз грузооборота морских портов северо-запада до 2040 года // Экономические науки. 2024. № 240. С. 134–138. doi: 10.14451/1.240.134 EDN: JBPVEU
3. Сацук Т.П., Жутяева С.А. Анализ рынка по перевалке грузов в морских портах России // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 3 (112). С. 19–22. EDN: JDFSPX
4. Гулый И.М. Трансформация рынка контейнерной логистики и развитие новых мультимодальных транспортно-логистических маршрутов (на примере Северо-Западного бассейна) // Транспортное дело России. 2023. № 4. С. 219–222. doi: 10.52375/20728689_2023_4_223 EDN: XDQIMA
5. Чеченова Л.М. Инновационные логистические подходы к доставке грузов: опыт КНР с перспективой внедрения в России. В кн.: Транспорт в интеграционных процессах мировой экономики. Материалы V Международной научно-практической онлайн-конференции. Гомель, 2024. С. 41–42. EDN: DAABBE
6. Бубнова Г.В., Подсорин В.А., Овсянникова Е.Н. Совершенствование механизма оценки транспортно-логистического обеспечения национальной экономики // Транспортное дело России. 2023. № 1. С. 17–23. doi: 10.52375/20728689_2023_1_17 EDN: JFCSFY

7. Терешина Н.П., Дмитриева Е.В., Маслова А.П. Анализ рынка грузовых перевозок и факторов, определяющих современные тренды развития транспортного комплекса // *Логистика*. 2023. № 10 (203). С. 15–19. doi: 10.54959/22197222_2023_10_15 EDN: BVUBFR

REFERENCES

1. Zhuravleva NA, Kryukova TA, Novikova EV. Calculation of indicators of volumes and structure of cargo transportation by rail within the boundaries of the North-West polygon of JSC Russian Railways in the context of shifting supply chains. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2024;10(4):630–643. doi: 10.17816/transsyst641656 EDN: OGPMYJ
2. Guliy IM, Shatrov SL. Strukturnye sdvigi v postavkah грузов через порты Балтийского бассейна и долгосрочный прогноз грузооборота морских портов северо-запада до 2040 года. *Ekonomicheskie nauki*. 2024; 240: 134–138. (In Russ.) doi: 10.14451/1.240.134 EDN: JBPVEU
3. Satsuk TP, Zhutyayeva SA. Market Analysis of Cargo Handling in Russian Seaports. *Transport of the Russian Federation*. 2024;(3):19–22. (In Russ.) EDN: JDFSPX
4. Guliy IM. Transformatsiya rynka kontejnernoj logistiki i razvitie novykh mul'timodal'nykh transportno-logisticheskikh marshrutov (na primere Severo-Zapadnogo bassejna). *Transportnoe delo Rossii*. 2023;4:219–222. doi: 10.52375/20728689_2023_4_223 (In Russ.) EDN: XDQIMA
5. Chechenova LM. Innovatsionnye logisticheskie podhody k dostavke грузов: opyt KNR s perspektivoy vnedreniya v Rossii. In: *Transport v integratsionnykh processakh mirovoj ekonomiki. Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy onlajn-konferencii*. Gomel'; 2024:41–42. (In Russ.) EDN: XDQIMA
6. Bubnova GV, Podsorin VA, Ovsyannikova EN. Sovershenstvovanie mekhanizma ocenki transportno-logisticheskogo obespecheniya nacional'noj ekonomiki. *Transportnoe delo Rossii*. 2023;1:17–23. (In Russ.) doi: 10.52375/20728689_2023_1_17 EDN: JFCSFY
7. Tereshina NP, Dmitrieva EV, Maslova AP. Analiz rynka грузовых перевозок i faktorov, opredelyayushchih sovremennye trendy razvitiya transportnogo kompleksa. *Logistics*. 2023;10(203):15–19. (In Russ.) doi: 10.54959/22197222_2023_10_15 EDN: BVUBFR

Сведения об авторе:

Волкова Елена Михайловна, д-р экон. наук, доцент;
eLibrary SPIN: 6886-5796; ORCID: 0000-0003-0620-463X;
E-mail: moonlight34@ya.ru

Information about the author:

Elena M. Volkova, Dr. Sci. (Economic), associate professor;
eLibrary SPIN: 6886-5796; ORCID: 0000-0003-0620-463X;
E-mail: moonlight34@ya.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689956>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© **Е.Н. Ефимова**

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(Москва, Россия)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАТЫ ЗА НАХОЖДЕНИЕ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Цель. Разработка повышенных ставок платы за нахождение грузовых вагонов на путях общего пользования сверх допустимого времени простоя и превышения предельной вместимости станционных путей.

Материалы и методы. Обоснование рациональной величины ставок платы за нахождение подвижного состава на железнодорожных путях общего пользования, порядок их определения с учетом не только возмещения возникающих затрат ОАО «РЖД», но и оценки финансовых рисков за нарушения нормативных сроков доставки грузов и потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика на грузовой вагон при нарушении установленного нормативами технологического времени простоя вагона на станции.

Результаты. Формирование ставок платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава, используемого при грузовых перевозках, с применением указанных методов может лечь в основу актуализации Тарифного руководства, утвержденного приказом Федеральной службы по тарифам от 29 апреля 2015 г. № 127-т/1.

Заключение. Изменение ставок платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава, используемого при грузовых перевозках, наряду с другими методами нормативно-правового регулирования избыточным парком грузовых вагонов, должно привести к повышению эффективности эксплуатационной работы ОАО «РЖД».

Ключевые слова: ставки платы; избыточный парк вагонов; затраты ОАО «РЖД»; грузовые вагоны; финансовые риски; потери финансирования.

Как цитировать:

Ефимова Е.Н. Совершенствование методов формирования платы за нахождение грузовых вагонов на железнодорожных путях общего пользования // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 460–473. doi: 10.17816/transsyst689956

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© E.N. Efimova

Railway Research Institute
(Moscow, Russia)

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETERMINING CHARGES FOR FREIGHT CARS STAYING ON PUBLIC TRACKS

AIM: The work aimed to develop increased charges for freight cars staying on public tracks beyond the permissible demurrage and the maximum capacity of station tracks.

METHODS: Substantiation of reasonable charges for the rolling stock taying on public tracks; the method for determining them based on both the reimbursed costs incurred by Russian Railways JSC, the assessed financial risks of violations of the standard terms of delivery, and potential loss of financing of the carrier's operations and investments per freight car in case of violation of the standard operational downtime of a car at a station.

RESULTS: The charges determined for the freight rolling stock staying on public railway tracks using the specified methods may be the basis for updating the Tariff Guide approved by Order No. 127-t/1 of the Federal Tariff Service dated April 29, 2015.

CONCLUSION: Updated charges for the freight rolling stock staying on public railway tracks, together with other regulatory controls of the excess fleet of freight cars, should increase the operational performance of Russian Railways JSC.

Keywords: charges; excess fleet of cars; costs of Russian Railways JSC; freight cars; financial risks; loss of financing.

To cite this article:

Efimova EN. Improvement of methods for determining charges for freight cars staying on public tracks. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):460–473. doi: 10.17816/transsyst689956

ВВЕДЕНИЕ

В План мероприятий по перевозке грузов железнодорожным транспортом, утвержденным распоряжением Минтранса РФ от 10 апреля 2025 г. № РС-Д4-24, вошли ряд мер, направленных на минимизацию влияния избыточного парка вагонов на перевозочный процесс. В том числе, ОАО «РЖД» обосновало необходимость уточнения базовых ставок платы контрагентами за нахождение вагонов на путях общего пользования, установленных Тарифным руководством, утвержденным приказом ФСТ России от 29 апреля 2015 г. № 127-т/1 [1].

ПРОБЛЕМЫ ИЗБЫТОЧНОГО ПАРКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ОАО «РЖД»

Начиная с 2018 года сложилась устойчивая тенденция поступления на инфраструктуру ОАО «РЖД» грузовых вагонов темпами, значительно превышающими темпы выхода их из эксплуатации. Парк вагонов Российской принадлежности увеличился более, чем на 20%, при снижении погрузки на 8%. Количество этих вагонов в апреле 2024 года достигло исторического максимума – 1 млн. 337 тыс. вагонов.

Профицит грузовых вагонов на инфраструктуре ОАО «РЖД» на сегодняшний день оценивается на уровне около 200 тыс. вагонов. Столь значительное количество подвижного состава, отставленного на станционных путях общего пользования, становится серьезным препятствием для нормальной работы железных дорог и создает проблемы для беспрепятственного и безопасного пропуска поездов. При этом большая часть таких вагонов находится на основных направлениях перевозок и существенно влияет на эксплуатационную работу компании.

Размещение основной доли профицита рабочего парка вагонов на двух особо грузонапряженных направлениях (Северо-Западном и Восточном) осложняет эксплуатационную работу компании. По оценкам Института экономики и развития транспорта, формируемым на основе разработанной им Методики расчета показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети [2], избыточный парк грузовых вагонов может вызвать:

- потери тяговых ресурсов из-за замедления продвижения поездов по участкам и в связи с необходимостью подъема задержанных в продвижении поездов с порожними вагонами;
- снижение качественных показателей эффективности эксплуатационной работы (снижение участковой скорости, производительности локомотива, увеличение времени оборота вагона и т.п. (Табл.)).

Указанные проблемы в последнее время обсуждаются на разных уровнях управления Компании, а также среди операторов железнодорожного транспорта, что доказывает актуальность рассматриваемой темы и необходимость принятия мер, направленных на минимизацию влияния избыточного парка вагонов на перевозочный процесс.

Таблица. Изменение качественных показателей перевозочной работы ОАО «РЖД» с 2018 по 2024 гг.

Table. Transportation quality changes at Russian Railways JSC in 2018–2024

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	2018 г.	2024 г.	+/-
1	Среднее время оборота грузового вагона	сутки	15,27	20,16	+32%
2	Производительность грузового вагона	ткм нетто	7727	6144	-20%
3	Время простоя вагона на 1 технической станции	час	6,50	10,23	+57%
4	Время простоя местного вагона	час	90,6	124,24	+37%
5	Средняя участковая скорость в грузовом движении	км/ч	40,9	37,1	-9%

В связи с этим ОАО «РЖД» был разработан ряд инициативных предложений, вошедших в План мероприятий по перевозке грузов железнодорожным транспортом, утвержденный распоряжением Минтранса РФ от 10 апреля 2025 г. № РС-Д4-24. В частности, были подготовлены изменения в нормативные правовые документы, такие, как Правила перемещения порожних грузовых вагонов, Правила приписки железнодорожного подвижного состава, предназначенного для перевозок грузов по железнодорожным путям общего пользования, к железнодорожным станциям инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, Правила пономерного учета железнодорожного подвижного состава, а также изменения в статью 44 Устава железнодорожного транспорта [3] в части наделения перевозчика и владельца инфраструктуры правом перемещения вагонов не только с припортовых, но и с иных станций, а также сокращения периода времени на уведомление владельца вагонов о предстоящем перемещении. Кроме этих мероприятий, направленных на минимизацию влияния избыточного парка вагонов на перевозочный процесс, ОАО «РЖД» обосновала необходимость уточнения базовых ставок платы за нахождение вагонов на путях общего пользования [1] по итогам разработки специалистами АО «ВНИИЖТ» новой методологии оценки изменения уровня ставок. Этот документ, в частности, должен способствовать сокращению времени занятия инфраструктуры железнодорожного транспорта порожними вагонами, являясь дополнительным инструментом стимулирования владельцев вагона использования их в перевозочном процессе.

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ДЕЙСТВУЮЩИХ И НОВЫХ СТАВОК ПЛАТЫ ЗА НАХОЖДЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ПУТЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Действующие ставки платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава как в перевозочном процессе, так

и вне перевозочного процесса (порожные вагоны) рассчитаны на основе оценки на условия 2014 года затрат ОАО «РЖД»:

- на содержание соответствующей железнодорожной инфраструктуры как для размещения, так и при необходимой перестановке подвижного состава;
- на возобновление перевозочного процесса для подвижного состава, задержанного в пути следования;
- на уведомление грузоотправителей (отправителей), грузополучателей (получателей), владельцев железнодорожных путей общего пользования, владельцев подвижного состава, а также других перевозчиков в объеме, предусмотренном статьей 3 Устава железнодорожного транспорта [3] и правилами перевозок грузов;
- на охрану железнодорожных путей, занятых подвижным составом, и обеспечение сохранности вагонов и контейнеров.

Значения ставок платы в [1] ежегодно индексируются на основе индексов к базовым ставкам платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава, представленных в приложении № 6 к приказу ФАС России от 10 декабря 2015 года № 1226/15 (с изменениями на 15 ноября 2024 года) [4].

Действующее Тарифное руководство № 127-т/1 включает в себя три следующих раздела:

1) общие положения, содержащие основания, принципы формирования ставок платы и определения платы в соответствии с временными параметрами занятия инфраструктуры;

2) порядок и базовые величины определения платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава, находящего в перевозочном процессе в форме таблицы № 1, содержащей базовые ставки без учета затрат, связанных с задержками в пути следования, и таблицы № 2 – с учетом этих затрат;

3) порядок и базовые величины определения платы за не связанное с перевозочным процессом нахождение порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования (вне перевозочного процесса) в форме таблицы № 3, содержащей базовые ставки за размещение порожних вагонов без согласования с ОАО «РЖД», и таблицы № 4 – размещение порожних вагонов по согласованию с ОАО «РЖД»).

Целесообразность пересмотра базовых ставок плат за нахождение вагонов на путях общего пользования помимо решения задач, связанных с повышением эффективности перевозочной работы, может быть обоснована и с точки зрения сопоставления действующих ставок платы (177 рублей за сутки за размещение вагона до 19,6 метров по согласованию с ОАО «РЖД») с ценами занятия инфраструктуры на других видах транспорта. Необходимо отметить, что во всех сферах транспортных услуг плата различных видов транспорта за размещение грузового транспорта на парковке (отстой) значительно превышает плату на аналогичные услуги на железнодорожной дефицитной инфраструктуре. Так, например, компания ООО «Дорожная сеть» [5], являющаяся крупным

цифровым агрегатором инфраструктуры сервиса для грузовых автопарков и их стоянки и имеющая более 1000 платных парковок для грузовых машин по России, предлагает в среднем плату 200-240 руб/сут. А компания «А-Приори», оказывающая услуги по ответственному хранению автотранспортной техники на территории своих терминалов, расположенных в пригородных зонах Москвы и Санкт-Петербурга, на 2024 год установила плату за аренду машино-места одним грузовиком с полуприцепом в размере 600 рублей с НДС за сутки простоя [6]. Вместе с тем, необходимо отметить, что в различных видах транспорта свои бизнес-модели, структура затрат и механизмы государственного стимулирования производственной деятельности, особенности которых требуют отдельного исследования.

Разработанная АО «ВНИИЖТ» методология формирования новых ставок платы за нахождение подвижного состава на путях общего пользования основывается на следующих принципах:

- определение актуальных затрат, связанных с занятием путей общего пользования, на основе действующего классификатора доходов и расходов ОАО «РЖД» и соответствующих данных корпоративной отчетности (подробный расчет затрат описан в [7]);
- определение актуальных затрат, связанных с возобновлением перевозочного процесса для подвижного состава, задержанного в пути следования, на основе действующего классификатора доходов и расходов ОАО «РЖД» и соответствующих данных корпоративной отчетности;
- включение в ставки плат, связанных с подвижным составом, находящимся в перевозочном процессе, компенсации финансовых рисков от нарушения нормативных сроков доставки грузов из-за загруженности станций простаивающими вагонами;
- включение в ставки плат оценок потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика как возможного дополнительного метода ценового регулирования, указанного в постановлении Правительства РФ от 05 августа 2009 г. № 643 «Положение о государственном регулировании тарифов, сборов и платы в отношении работ (услуг) субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок» [8], и основанного на положениях ст. 15 части первой Гражданского кодекса Российской Федерации [9].

В соответствии с действующей структурой Тарифного руководства были выделены два основных направления формирования новых ставок платы:

1) в перевозочном процессе – рассмотрение ситуаций, связанных с нарушением технологического времени начально-конечных и таможенных операций, а также задержками вагонов и контейнеров в пути следования (Табл. 1, 2 [1]);

2) вне перевозочного процесса – анализ ситуаций, связанных с перемещением порожних вагонов после выгрузки на станции перемещения или размещением порожних вагонов на станциях, включая припортовые, как после выгрузки, так и по согласованию с ОАО «РЖД» (Табл. 3, 4 [1]).

Для каждого направления были разработаны таблицы, которые учитывают принятую в действующем документе дифференциацию по длине вагонов (менее 19,6 м, от 19,6 до 25,5 м, более 25,5 м), допустимое время простоя, тип подвижного состава и тип станций (станции перемещения, станции выгрузки, припортовые станции).

Основным методом государственного регулирования тарифов, как отмечено в п.13 постановления Правительства РФ от 05 августа 2009 г. № 643 [8], является метод экономически обоснованных затрат.

Исходя из этого принципа базовая величина для расчета тарифа должна включать расходы на содержание и обслуживание железнодорожной инфраструктуры общего пользования, занятой подвижным составом.

Затраты, непосредственно связанные с нахождением подвижного состава на железнодорожных путях общего пользования, определяются на основе данных корпоративной управленческой отчетности за последний отчетный год в части текущих затрат по видам деятельности «грузовые перевозки» и «предоставление услуг в грузовых перевозках», приходящихся на станционные пути (включая соответствующие затраты на хозяйственное движение). Нераспределенные по видам путей затраты распределяются в соответствии с долей приведенной длины станционных путей, определенной на основе п.15.3 приказа Минтранса России от 23 октября 2018 г. № 373 «Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок» [10].

При определении затрат ОАО «РЖД», связанных с возобновлением перевозочного процесса для подвижного состава, задержанного в пути следования (подъемом поезда по причинам, не зависящим от перевозчика), необходимо учитывать дополнительные затраты, связанные с временным отставлением от движения поездов и подъемом этих поездов, возникающие в процессе дополнительной поездной и маневровой работы на станции, а также с необходимостью дополнительных затрат на техническое обслуживание грузовых вагонов в пути следования.

Размер компенсации финансовых рисков от нарушения нормативных сроков доставки грузов для включения в ставки платы определяется за последний отчетный год исходя из суммарного времени простоя по грузовым отправкам на всех промежуточных станциях и претензий за недоставку груза в срок по соответствующим станциям назначения. Эта информация формируется в единой автоматизированной системе мониторинга и управления рисками нарушений сроков доставки грузов и порожних вагонов (далее – ЕАСАПР СД).

Для определения размера компенсации, связанного с часом простоя вагона на станции, был применен следующий алгоритм:

1) построение линейной модели корреляционной зависимости размеров претензий от времени простоя по отправкам за отчетный год (для уменьшения выявленного в результате анализа разброса данных по станциям назначения для расчета были использован прием преобразования значений претензий и времени простоя в аналогичные значения с помощью натурального логарифмирования);

2) определение на основе корреляционной модели изменение суммы претензий по отправке при изменении времени простоя на 1 час;

3) определение среднего количества вагонов в отправке на основе отчетных данных по видам отправок в ИХ «Грузовые перевозки»;

4) определение величины увеличения претензий на час задержки одного вагона (расчет размера компенсации на 1 ч простоя вагона на станции).

Этот показатель имел место при определении существующих ставок плат, однако он рассчитывался на основе еще не до конца автоматизированного сбора достоверной информации о претензиях и учитывался только в ставках, соответствующих превышению трех суток простоя вагонов, находящихся в перевозочном процессе. В новых ставках, формируемых для условий (Табл. 1, 2 [1]), предлагается его учитывать, начиная с первого часа нахождения вагонов на железнодорожных путях общего пользования, за который взимается плата в соответствии с [1].

Обоснование включения в новые ставки платы оценок потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика базируется на том, что в [7] помимо принципа формирования тарифов на основе метода экономически обоснованных затрат указано, что органы регулирования могут применять и иные методы ценового регулирования, в частности, при необходимости могут определяться меры по компенсации потерь в доходах субъекта регулирования в соответствии с законодательством Российской Федерации. Этот подход реализован в методике определения величин штрафов ОАО «РЖД» за нарушение графика движения поездов при заключении договоров с контрагентами [11].

Согласно определению Федерального закона Российской Федерации от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте Российской Федерации», [12], перевозочный процесс является совокупностью организационно и технологически взаимосвязанных операций. Несвоевременное или некачественное выполнение какой-либо из операций ведет к сбою во всей технологической цепочке. Ввиду того, что перевозка грузов на инфраструктуре ОАО «РЖД» осуществляется в составе организованных поездов по установленному графику, неисполнение или ненадлежащее исполнение технологической операции, как правило, ведет к сбою, выражающемуся в форме инцидента, вызывающего нарушение графика движения поездов.

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 10 января 2003 г. №18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» ОАО «РЖД» [3], как перевозчик и владелец инфраструктуры, несет ответственность перед грузоотправителем и грузополучателем.

В соответствии со статьей 15 Гражданского кодекса Российской Федерации [8] лицо, право которого нарушено, может требовать полного возмещения причиненных ему убытков, если законом или договором не предусмотрено возмещение убытков в меньшем размере.

Под убытками понимаются расходы, которые лицо, чье право нарушено, произвело или должно будет произвести для восстановления нарушенного права,

утрата или повреждение его имущества (реальный ущерб), а также неполученные доходы, которые это лицо получило бы при обычных условиях гражданского оборота, если бы его право не было нарушено (упущенная выгода).

Таким образом, контрагент помимо полного возмещения реального ущерба может быть привлечен к возмещению неполученных доходов компании (упущенной выгоды), которые ОАО «РЖД» получило бы при обычных условиях организации перевозочного процесса, если бы он не был нарушен по вине контрагентов.

В нашей методике мы определили «упущенную выгоду» как оценку потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика. Потери потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика на грузовой вагон, связанные с оплачиваемым владельцами грузового вагона часом временем при нарушении установленного нормативами технологического времени начально-конечных и таможенных операций, а также ожидания переадресовки грузов, порожних вагонов и контейнеров, определяются на основе среднесетевой доходной ставки за 1 т/км нетто груженых вагонов и порожних грузовых вагонов, скорректированной на себестоимость грузовых перевозок в части зависящих затрат [13], приходящейся на час перемещения грузового вагона в перевозочном процессе (на основе отчетных данных о полном рейсе вагона, динамической нагрузке вагона и времени оборота вагона).

При определении потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика, связанных с задержкой вагонов в пути следования, кроме уже найденных потерь учитываются потери, связанные с вагоно-часами простоя грузовых поездов, задержанных от движения по причинам, не зависящим от перевозчика.

Для Табл. 3, 4 [1], ставки в которых приводятся не на час простоя, а на сутки, полученные значения умножаются на 24.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование позволило определить новые ставки платы за нахождение подвижного состава на путях общего пользования.

Суммарная величина новой ставки платы за нахождение подвижного состава на железнодорожных путях общего пользования определяется в общем виде по следующим формулам (1)–(5):

– формула (1) для Табл. 1 [1] при нарушении контрагентами ОАО «РЖД» установленного нормативами технологического времени начально-конечных и таможенных операций, а также ожидания переадресовки грузов, порожних вагонов и контейнеров (руб/ч):

$$T_{n-i}^1 = e_{m_{cn}-ч}^{инф.ржд} \cdot L_{nc_i} \cdot k_{zn} \cdot r + R_{co} + \Delta ЧД I_{час}^{ваг} \quad (1)$$

где $e_{m_{cn}-ч}^{инф.ржд}$ – удельная величина инфраструктурных затрат ОАО «РЖД», связанных с содержанием и обслуживанием станционных путей с учетом хозяйственного

движения и инвестиционных затрат за отчетный период, приходящихся на один метр станционных путей в час, руб./м-ч; L_{nc_i} – длина i -того подвижного состава, м; r – коэффициент рентабельности предоставления услуг ОАО «РЖД» (на основе корпоративного отчета по форме «7-р отчетная ОАО «РЖД» за отчетный период); k_{zn} – коэффициент, связанный с оптимальным регулированием поездной работы, предотвращением сбоев в движении поездов и обеспечения необходимой маневренности в работе станций [14]; R_{cd} – оценка финансовых рисков от нарушения сроков доставки грузов (претензий) на грузовой вагон, руб./ваг-ч.; $\Delta ЧД1_{час}^{ваг}$ – оценка потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика, руб./ваг-ч.;

– формула (2) для Табл. 2 [1] при задержке (не по вине ОАО «РЖД») вагонов, контейнеров в пути следования (в том числе на промежуточных железнодорожных станциях из-за неприема железнодорожной станцией назначения), приводящей к нарушению сроков доставки, (руб./ч):

$$T_{n-v_i}^2 = e_{\text{мсп-ч+подпоезда}}^{\text{инф.ржд}} \cdot L_{nc_i} \cdot k_{zn} \cdot r + R_{cd} + \Delta ЧД2_{час}^{ваг} \quad (2)$$

где $e_{\text{мсп-ч+подпоезда}}^{\text{инф.ржд}}$ – инфраструктурные затраты ОАО «РЖД», связанные с содержанием и обслуживанием станционных путей с учетом хозяйственного движения и инвестиционных затрат за отчетный период, и затраты ОАО «РЖД» на подъем и перемещение поезда при задержке подвижного состава в пути следования, приходящиеся на один метр станционных путей в час, руб./м-ч; $\Delta ЧД2_{час}^{ваг}$ – оценка потерь потенциальных источников финансирования операционной и инвестиционной деятельности перевозчика процессах, включая простои вагонов во временно отставленных от движения поездах по коду «01» («Неприем поезда железнодорожной станцией назначения на территории России по причинам, зависящим от грузополучателей, владельцев или пользователей путей необщего пользования» [15]), руб./ваг-ч.;

– формула (3) для Табл. 3 [1] в части платы при условиях нахождения порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования в соответствии с правилами перемещения порожних вагонов, (руб./сут.):

$$T_{n-v_i}^{3cn} = e_{\text{мсп-ч}}^{\text{инф.ржд}} \cdot k_{zn} \cdot L_{nc_i} \cdot 24 \cdot r \quad (3)$$

– формула (4) для Табл. 3 [1] в части платы при условиях нахождения порожних вагонов на станциях выгрузки, в т.ч. припортовых, (руб./сут.):

$$T_{n-v_i}^{3cv} = e_{\text{мсп-ч}}^{\text{инф.ржд}} \cdot k_{zn} \cdot L_{nc_i} \cdot r \cdot \alpha \cdot 24 + \Delta ЧД3_{сут}^{ваг}, \quad (4)$$

где α – коэффициент увеличения платы в соответствии с положением статьи 44 Устава о взимании платы в пятикратном размере за каждые последующие сутки после истечения третьих суток с момента выгрузки груза из вагонов или с момента подачи вагонов на железнодорожные пути общего пользования; $\Delta ЧД3_{сут}^{ваг}$ – оценка потерь потенциальных источников финансирования операционной

и инвестиционной деятельности перевозчика, связанной с перевозками порожнего грузового вагона, руб./ваг-сут.;

– формула (5) для Табл. 4 [1] для порожних вагонов, находящихся вне перевозочного процесса, размещение которых согласовано с ОАО «РЖД», (руб./сут.):

$$T_{n-v_i}^4 = e_{\text{инф. ржд}}^{\text{м.сн-ч}} \cdot k_{\text{зн}} \cdot L_{\text{н.с.}} \cdot r \cdot 24 + [\Delta \text{ЧДЗ}_{\text{сут}}^{\text{ваг}}], \quad (5)$$

где $[\Delta \text{ЧДЗ}_{\text{сут}}^{\text{ваг}}]$ – взимается, начиная с суток, превышающих половину среднего времени оборота грузового вагона рабочего парка (инструмент, стимулирующий владельцев вагона к ускоренному вовлечению его в перевозочный процесс).

В настоящее время разработанный проект Методики определения ставок платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава, используемого при грузовых перевозках, а также контейнеров, на основе которого предлагается определять новые ставки платы, направлен ОАО «РЖД» в ФАС России для согласования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение новых величин ставок платы за нахождение грузовых вагонов на железнодорожных путях общего пользования сверх допустимого времени простоя и превышения предельной вместимости станционных путей повлияет на деятельность операторских компаний, стимулируя их активнее вовлекать вагоны в перевозочный процесс. В результате предполагается сокращение времени оборота и повышение производительности грузового вагона рабочего парка на сети железных дорог. Повысится ритмичность и финансово-экономическая ответственность сторон перевозочного процесса, что в конечном итоге повлияет на увеличение эффективности перевозочной работы ОАО «РЖД» и улучшение качественных показателей перевозок.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declare that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плата за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава и правила ее применения (Тарифное руководство): утв. приказом Федеральной службы по тарифам от 29 апреля 2015 г. № 127-т/1. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/files/14757>
2. Методика расчета показателей работы вагонных парков, позволяющих осуществлять мониторинг, анализ и оценку влияния избыточности парков на эффективность и результативность работы сети: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 ноября 2015 г. № 2668р. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=SVB014&n=29202&dst=100002,2>

3. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2003 г. № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации». Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/
4. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 10 декабря 2015 г. N 1226/15 «Об индексации ставок тарифов, сборов и платы за перевозку грузов и услуги по использованию инфраструктуры при перевозках грузов, выполняемые (оказываемые) ОАО «Российские железные дороги» (с изменениями на 15 ноября 2024 года), приложение № 6 «Индексы к базовым ставкам платы за нахождение на железнодорожных путях общего пользования подвижного состава и правил ее применения». Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71289298/?ysclid=mc0d7kd2f1320789096>
5. Официальный сайт компании «Дорожная сеть». [internet] Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://dornet.ru/content/parking>
6. Официальный сайт компании «А-ПРИОРИ», предоставляющей услуги охраняемой стоянки для грузовых автомобилей в Москве и Санкт-Петербурге. [internet] Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://parkingcars.ru/uslugi/stoyanki-dlya-gruzovikov>
7. Огинская А.Е., Шмелев А.В. Методология расчета расходных ставок на содержание 1 км путей (станционных и необщего пользования) в современных условиях отнесения и учета затрат владельца железнодорожной инфраструктуры. В кн.: Труды ученых АО «ВНИИЖТ» «Экономические исследования железнодорожного комплекса и их практическое значение». Москва: ООО «РАС», 2019. С. 118–123.
8. Постановление Правительства РФ «О государственном регулировании тарифов, сборов платы в отношении работ (услуг) субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок» от 5 августа 2009 г. № 643, п.13. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/196053/?ysclid=mc0eo72nww806470137>
9. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая, статья 15) от 30.11.1994 г. № 51-ФЗ (в ред. Федеральных законов от 08.03.2015 г. № 42-ФЗ, от 09.03.2021 г. № 33-ФЗ). Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/4734407fbf4d5eec5306840f8b75b994e5d57090/
10. Приказ Минтранса России «Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок» от 23 октября 2018 г. № 373. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/?ysclid=mc0esdnduy968102779>
11. Методика определения убытков ОАО «РЖД» от инцидентов, вызывающих нарушения графика движения поездов, на железнодорожных путях общего пользования, возникших по ответственности контрагентов и третьих лиц – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30 марта 2023 г. № 784/р. С. 51–121. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_446677/69bd58353055be99ece7eae1e1b8fccc0a5999d/
12. Методические указания по вопросу государственного регулирования тарифов на услуги железнодорожного транспорта по перевозке грузов и услуги по использованию железнодорожной инфраструктуры общего пользования при

- грузовых перевозках – Утв. приказом ФСТ России от 30 августа 2013 г. № 166-т/1, приложение № 2. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: https://rulings.ru/acts/Prikaz-FST-Rossii-ot-30.08.2013-N-166-t_1/?ysclid=mc33smo64b228520340
13. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте Российской Федерации». Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://epp.genproc.gov.ru/web/mmtp/documents?item=9537559>
14. Сотников Е.А. Эксплуатационная работа железных дорог. М.: Транспорт, 1986.
15. Классификатор причин задержек в продвижении (остановки от движения) составов поездов – Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 19 сентября 2018 г. № 2042/р. Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://e-ecolog.ru/docs/fKh5WFBb6oW0hzPNJVbxO/full>

REFERENCES

1. Payment for the presence of rolling stock on public railway tracks and the rules for its application (Tariff Guidelines): approved by Order of the Federal Tariff Service dated April 29, 2015 No. 127-t/1. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://minjust.consultant.ru/files/14757>
2. Methodology for calculating performance indicators of car fleets, allowing monitoring, analysis and assessment of the impact of fleet redundancy on the efficiency and effectiveness of the network: approved by Order of JSC Russian Railways dated November 12, 2015 No. 2668r. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=SVB014&n=29202&dst=100002,2>
3. Federal Law of the Russian Federation of January 10, 2003 No. 18-FZ “Charter of Railway Transport of the Russian Federation”. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/
4. Order of the Federal Antimonopoly Service No. 1226/15 dated December 10, 2015 “On the Indexation of Tariff Rates, Fees and Charges for the transportation of goods and Services for the Use of infrastructure for the Transportation of Goods performed (provided) JSC Russian Railways (as amended on November 15, 2024), Appendix No. 6 “Indices to the base rates of fees for the presence of rolling stock on public railway tracks and the rules of its application”. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://base.garant.ru/71289298/?ysclid=mc0d7kd2f1320789096>
5. The official website of the Road Network company. [internet] (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://dornet.ru/content/parking>
6. The official website of the A-PRIORI company, which provides secure parking for trucks in Moscow and St. Petersburg. [internet] (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://parkingcars.ru/uslugi/stoyanki-dlya-gruzovikov>
7. Oginskaya AE, Shmelev AV. Methodology for calculating expense rates for the maintenance of 1 km of tracks (station and non-public use) in modern conditions of attribution and accounting for the costs of the owner of railway infrastructure // Proceedings of scientists of JSC VNIIZHT “Economic research of the railway complex and their practical significance”; Moscow: RAS LLC. 2019:118–123. (In Russ.)
8. Decree of the Government of the Russian Federation “On State regulation of tariffs and

- fees in respect of works (services) of subjects of natural monopolies in the field of railway transportation” dated August 5, 2009 No. 643, item 13. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://base.garant.ru/196053/?ysclid=mc0eo72nww806470137>
9. The Civil Code of the Russian Federation (Part one, Article 15) dated 11/30/1994. No. 51-FZ (as amended Federal Laws No. 42-FZ dated 08.03.2015, No. 33-FZ dated 09.03.2021). (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/4734407fbf4d5eec5306840f8b75b994e5d57090/
 10. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation “On approval of the Procedure for Separate Accounting of income and expenses by subjects of natural monopolies in the field of railway transportation” dated October 23, 2018 No. 373. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/?ysclid=mc0esdnduy968102779>
 11. Methodology for determining losses of Russian Railways from incidents causing disruptions to train schedules on public railway tracks caused by the liability of counterparties and third parties – Approved by Order of Russian Railways dated March 30, 2023 No. 784/r. 2023:51–121. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_446677/69bd58353055be99ece7eae1e1b8fccc0a5999d/
 12. Methodological guidelines on the issue of state regulation of tariffs for railway transport services for the transportation of goods and services for the use of public railway infrastructure in freight transportation – Approved by Order of the Federal Customs Service of Russia dated August 30, 2013 No. 166-t/1, Appendix No. 2. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: https://rulings.ru/acts/Prikaz-FST-Rossii-ot-30.08.2013-N-166-t_1/?ysclid=mc33smo64b228520340
 13. Federal Law of the Russian Federation dated January 10, 2003 No. 17-FZ “On Railway Transport of the Russian Federation”. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://epp.genproc.gov.ru/web/mmtip/documents?item=9537559>
 14. Sotnikov EA. Operational work of railways. Moscow: Transport; 1986. (In Russ.)
 15. Classifier of reasons for delays in moving (stopping from moving) trains – Approved by the Order of JSC Russian Railways dated September 19, 2018 No. 2042/r. (In Russ.) Accessed: 18.06.2025. Available from: <https://e-ecolog.ru/docs/fKh5WFBb6oW0hzPNJVbxO/full>

Сведения об авторе:

Ефимова Елена Николаевна, канд. экон. наук;

eLibrary SPIN: 7176-0100;

E-mail: efimova.elena@vniizht.ru

Information about the author:

Elena N. Efimova, Cand. Sci. (Economics);

eLibrary SPIN: 7176-0100;

E-mail: efimova.elena@vniizht.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst688684>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© Н.А. Журавлева, Н.В. Баталова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРОГНОЗНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА ИННОВАЦИОННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ МОДЕЛИ

Цель. Создание нейросетевого инструментария прогнозирования пассажирских перевозок инновационным (высокоскоростным) железнодорожным транспортом.

Материалы и методы. Статистические данные по пассажиропотокам на всех видах транспорта в зонах тяготения высокоскоростных железнодорожных магистралей. Методы: эконометрическое моделирование, многослойный перцептрон.

Результаты. Создан алгоритм планирования пассажирских перевозок на высокоскоростных железнодорожных магистралях (ВСЖМ) на основе интеллектуальной модели нейронного типа.

Заключение. Способность нейросетевой модели к «обучению» позволяет повысить достоверность прогнозов мобильности населения при оценке проектов ВСЖМ.

Ключевые слова: высокоскоростной железнодорожный транспорт; нейросетевое моделирование; многослойный перцептрон; архитектура данных; прогноз пассажиропотоков.

Как цитировать:

Журавлева Н.А., Баталова Н.В. Алгоритм расчета прогнозного пассажиропотока инновационного железнодорожного транспорта на основе нейронной модели // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 474–485. doi: 10.17816/transsyst688684

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© N.A. Zhuravleva, N.V. Batalova

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

CALCULATION ALGORITHM OF THE EXPECTED PASSENGER FLOW OF INNOVATIVE RAILWAY TRANSPORT BASED ON A NEURAL MODEL

AIM: The work aimed to develop neural network tools to forecast passenger transportation by innovative (high-speed) railway transport.

METHODS: Passenger flow statistics for all modes of transport in the attraction areas of high-speed railway lines. Methods include the econometric modeling and multilayer perceptron.

RESULTS: An algorithm to plan passenger transportation by high-speed railway lines (HSRL) has been developed based on a neural model.

CONCLUSION: The ability of the neural network model to learn allows to increase reliability of population mobility forecasts when assessing HSRL projects.

Keywords: high-speed railway transport; neural network modeling; multilayer perceptron; data architecture; passenger flow forecast.

To cite this article:

Zhuravleva NA, Batalova NV. Calculation algorithm of the expected passenger flow of innovative railway transport based on a neural model. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):474–485. doi: 10.17816/transsyst688684

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие инновационных видов пассажирского транспорта, а именно, высокоскоростного железнодорожного транспорта (ВСЖТ) вызывает множество сущностных проблем обоснования совокупного уровня инновационной активности, направленной на рост мобильности населения страны. Идеология инновационной активности расширяет понятие перевозки в функционал, обеспечивающий сокращение времени и пространства или «экономику транспорта высоких скоростей», которая вбирает в себя производство и внедрение новейших методов и средств управления, технологий и техники перевозочного процесса, создания принципиально новых комплексных форм обслуживания клиентов при высокой рыночной капитализации транспортных компаний и коммерциализации инноваций. При этом коммерциализация должна обнаруживать выраженную величину прироста маржинального дохода (или дохода домашнего хозяйства) пассажира при условии снижения ее стоимости у производителя.

Многочисленные экономические исследования показали, что ВСЖТ генерирует *эффект роста доходности только при увеличении плотности сети (ВСЖТ и локальные транспортные сети, обеспечивающие пассажиропоток высокоскоростной перевозки) и сокращением времени поездки*, при которой долговременная кривая средних издержек приобретает нисходящий характер [1–3].

Удельные издержки снижаются по мере увеличения производительности железнодорожной линии, поскольку фиксированная стоимость железнодорожной инфраструктуры распределяется на все большее число единиц перевозок. Для эффективной экономики железнодорожной сети требуется высокая степень использования инфраструктуры: чем выше степень использования, тем лучше экономика инфраструктуры, тем большая доходность может быть обеспечена инвестору. Учет этих факторов в условиях новой геополитики и геоэкономики России существенно влияет на эффективность принимаемых решений по развитию сети ВСЖТ [4].

Целью данного исследования является разработка интеллектуального инструментария планирования и прогнозирования пассажирских перевозок ВСЖТ, повышающим достоверность обоснования данных проектов.

Для этого в статье исследуется суть самой инновации как «нововведения, имеющего коммерческий или иной эффект» при оказании услуги по перевозке. Основные результаты исследования и идентифицируемый источник инновационного обновления транспортных систем описываются в комплексе, отражающем эффект: производства транспортной услуги, технологий, используемых в ее производстве и потреблении, а также достигаемом эффекте мультипликации. Инновационные решения в формировании новых транспортных систем могут быть обнаружены при переходе на принципиально новые скорости перевозки пассажиров, генерируемых инновационным транспортом, инфраструктурой и технологией перевозки [5].

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Основные расчетные данные опираются на 2019 г., в течение которого на подвижность населения не оказали существенного влияния ни кризисные явления в экономике, наблюдавшиеся в 2015–2017 года, ни крупномасштабные мероприятия, сравнимые с Чемпионатом мира ФИФА 2018 г. Пассажиропотоки в 2020–2021 годах не рассматривались, из-за введения ограничений на передвижения, связанные с пандемией COVID-19. Данные после 2022 года из-за изменения политической обстановкой и началом «Специальной военной операции» на Украине оценены как «нехарактерные» из-за введения санкций и сложностями заграничных передвижений.

Использованы статистические данные по объемам и динамике пассажиропотоков на воздушном, железнодорожном и автобусном транспорте, а также по корреспонденциям между регионами зоны тяготения ВСЖМ-1 на легковом автомобильном транспорте с разбивкой по указанным выше периодам (Федерального дорожного агентства (Росавтодор)). Данные по пассажиропотокам на транспорте общего пользования за базовый год были получены из открытых источников компаний-перевозчиков (структуры ОАО «РЖД») и операторов пассажирских терминалов (ООО «Воздушные Ворота Северной Столицы», Санкт-Петербургский ГУП «Пассажиравтотранс» и др.) [6–8]. Были учтены следующие предпосылки роста суммарных пассажиропотоков:

- существенное влияние темпов роста ВРП на темпы роста деловых корреспонденций;
- влияние темпов роста реальной заработной платы на темпы роста бытовых и рекреационных корреспонденций;
- самая высокая динамика подвижности населения наблюдается на связях с Москвой;
- уровень социально-экономического развития территорий, прилегающих к ВСЖМ, влияет на изменения темпов роста пассажиропотока с бытовыми и рекреационными целями.

База данных для моделирования сформирована из социально-экономических показателей (ретроспективный ряд и прогноз) и пассажиропотоков (ретроспективный ряд) по рассматриваемым связям по целям корреспонденций.

Сформированная база данных состоит из социально-экономических показателей (ретроспективный ряд и прогноз) и пассажиропотоков (ретроспективный ряд) по рассматриваемым связям по целям корреспонденций. Количественная оценка степени разброса и однородность данных по каждому из отобранных показателей получена по данным дескриптивной статистики, удаления из нее аномальных значений.

Построены эконометрические модели, отражающие зависимости изменения темпов роста пассажирских перевозок от изменения темпов роста социально-экономических показателей. Эконометрических модели и область их применения показаны в Табл. 1.

Таблица 1. Эконометрические модели, используемые для получения ориентиров темпов роста пассажиропотоков**Table 1.** Econometric models used to determine benchmarks for passenger flow growth rates

Функция	Область применения
$GR_P_{business} = a + b * \ln (GR_GRP)$	Получение ориентиров темпов роста пассажирских перевозок с деловыми целями
$GR_P_{l\&rec} = a * GR(W)$	Получение ориентиров темпов роста пассажирских перевозок с бытовыми и рекреационными целями

Источник: составлено авторами

Здесь $GR_P_{business}$ – расчетное (прогнозное) значение темпа роста пассажиропотока с деловыми целями, полученное на основе эконометрической модели;

$GR_P_{l\&rec}$ – расчетное (прогнозное) значение темпа роста пассажиропотока с культурно-бытовыми и рекреационными целями, полученное на основе эконометрической модели;

GR_GRP – усредненное значение темпа роста ВРП;

$GR(W)$ – усредненное значение темпа роста средней заработной платы;

a , b – расчетные коэффициенты (доля деловых корреспонденций и корреспонденций с бытовыми и рекреационными целями в общем количестве поездок по маршрутам прилегания ВСЖМ).

Неоднородность факторов, влияющих на подвижность населения ввиду нынешних обстоятельств политического и экономического характера, использование линейных зависимостей и агрегированных статистических данных не позволяют учитывать скрытые нелинейные зависимости между событиями, влияющими на мобильность населения, и снижают достоверность результатов прогнозов объемов перевозок проектируемой ВСЖМ-1. Использование инструментария нейросетевого моделирования способно обучить прогнозную модель реагировать на все изменения внешней и внутренней среды по мере их появления. Доказана эффективность использования для данных целей метода многослойного перцептрона (MLP) [9]. Разработанная в данном исследовании модель обучена на эмпирических данных, адаптирована под специфику миграционных потоков территории ВСЖМ-1, учитывает скорость передвижения по локальным маршрутам трассы, например, Москва-Тверь и Санкт-Петербург – Нижний Новгород.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Систематизированы эффекты инновационного обновления транспортных систем на базе ВСЖТ.

Получены и доказаны зависимости влияния инновационной транспортной услуги на базе ВСЖТ на отдельные макроэкономические показатели и общий эффект мультипликации (трудова мобильность – рост урбанизации) см. Табл. 2 и Рис. 1.

Таблица 2. *Последствия влияния инновационных транспортных систем на макроэкономические факторы***Table 2.** *Influence of innovative transport systems on macroeconomic factors*

Факторы влияния Последствия влияния на ИТС	Изменение трудовой мобильности	Изменения рекреационной мобильности	Изменение возрастной структуры потребителей и работников	Рост/Снижение доходов населения	Рост урбанизации
Изменение модели производства – потребление	Рост новых точек создания продукта	Создание новых рекреационных территорий	Старение населения и дисбаланс трудовых ресурсов	Рост доходов населения повышает спрос на поездки, способствуя развитию новых транспортных систем.	Высокая плотность населения в городах и потребность в сокращении времени перемещения между ними
Гибкие модели гравитации перевозок	Изменение маршрутизации перевозок	Изменение географии перевозок	Изменение предпочтений в перевозках	Смешанные перевозки (время, цена) повышают доходы домашних хозяйств	Создание междугородного высокоскоростного пассажирского сообщения
Изменения в нормах накопления	Локализация производства	Смещение мобильности населения	Насыщение базовых потребностей	Изменение динамики спроса на ресурсы	Ограничение пространства и рост мобильности
Изменение капиталоемкости	Рост концентрации населения в новых точках развития производства	Смещение рекреационной мобильности	Цифровое мышление	Уменьшение материало- и ресурсоемкости	Развитие сервисов

Источник: составлено авторами с учетом исследований [10, 11].

Эффекты инновационного обновления транспортной системы на основе высокоскоростного транспорта сгруппированы и показаны на Рис. 1.

2. Создана база данных из неструктурированных источников. Выделены данные индуцированного спроса на передвижения с деловыми, бытовыми и рекреационными целями.

Использованы результаты анализа структурированных – деловые поездки (статистических) и неструктурированных данных.

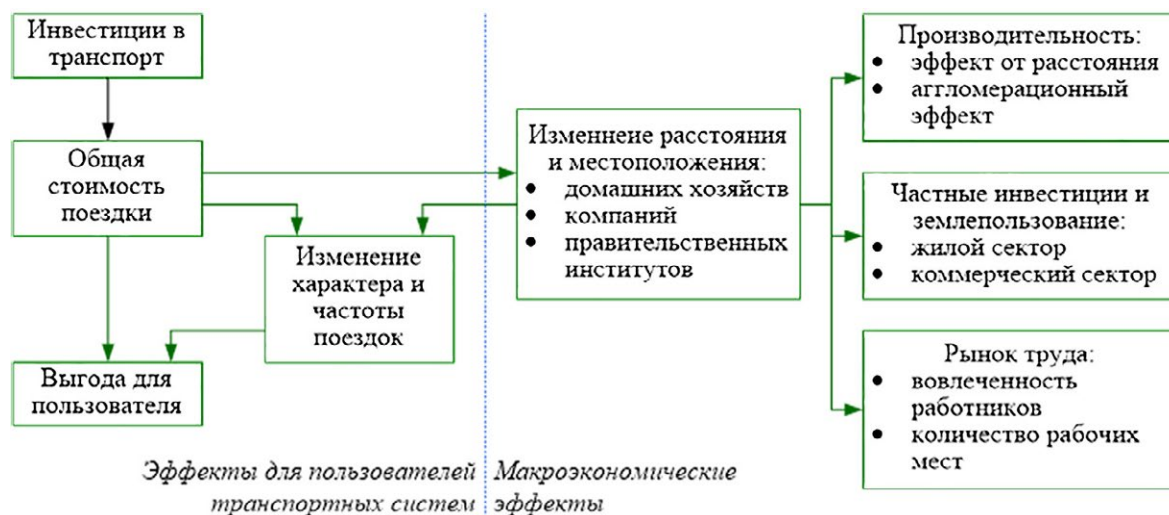


Рис. 1. Совокупные эффекты высокоскоростного железнодорожного транспорта

Fig. 1. Combined effects of high-speed railway transport

Индукцированный спрос возникает из-за **скрытого спроса**, который существует, но по каким-то причинам подавляется неспособностью системы справиться с ним. Индукцированный спрос на передвижения обусловлен сокращением времени проезда и будет представлен в основном разовыми кратковременными (без ночевки) поездками. Определение спроса на такие поездки основывается на результатах социологического опроса, проводимого в населенных пунктах, расположенных вдоль трассы ВСЖМ-1. Объем индукцированного спроса рассчитывается путем стратификации респондентов на группы с одинаковым опытом и фактической частотой поездок и одинаковой желаемой частотой поездок. Объем индукцированного спроса определяется на основе оценки разницы между желаемой и наблюдаемой частотой поездок.

3. Разработан алгоритм модели многослойного перцептрона (MLP)

Архитектура перцептрона состоит из 2-х скрытых слоев (количество нейронов определяется эмпирически в процессе обучения). Использована входная функция «сигмоида» активации скрытых слоёв. Выходная функция представляет собой тождество (линейная). Соотношение данных: 70% обучающая, 30% тестовая выборка. Примененное масштабирование: нормализация min-max.

Последовательность реализации процесса нейромоделирования представлен на Рис. 2.

4. Результаты моделирования.

В результате моделирования получены следующие результаты:

4.1. Динамика распределения суммарного пассажиропотока на всех связях между видами транспорта при наличии и отсутствии ВСЖМ-1 представлена на Рис. 3.

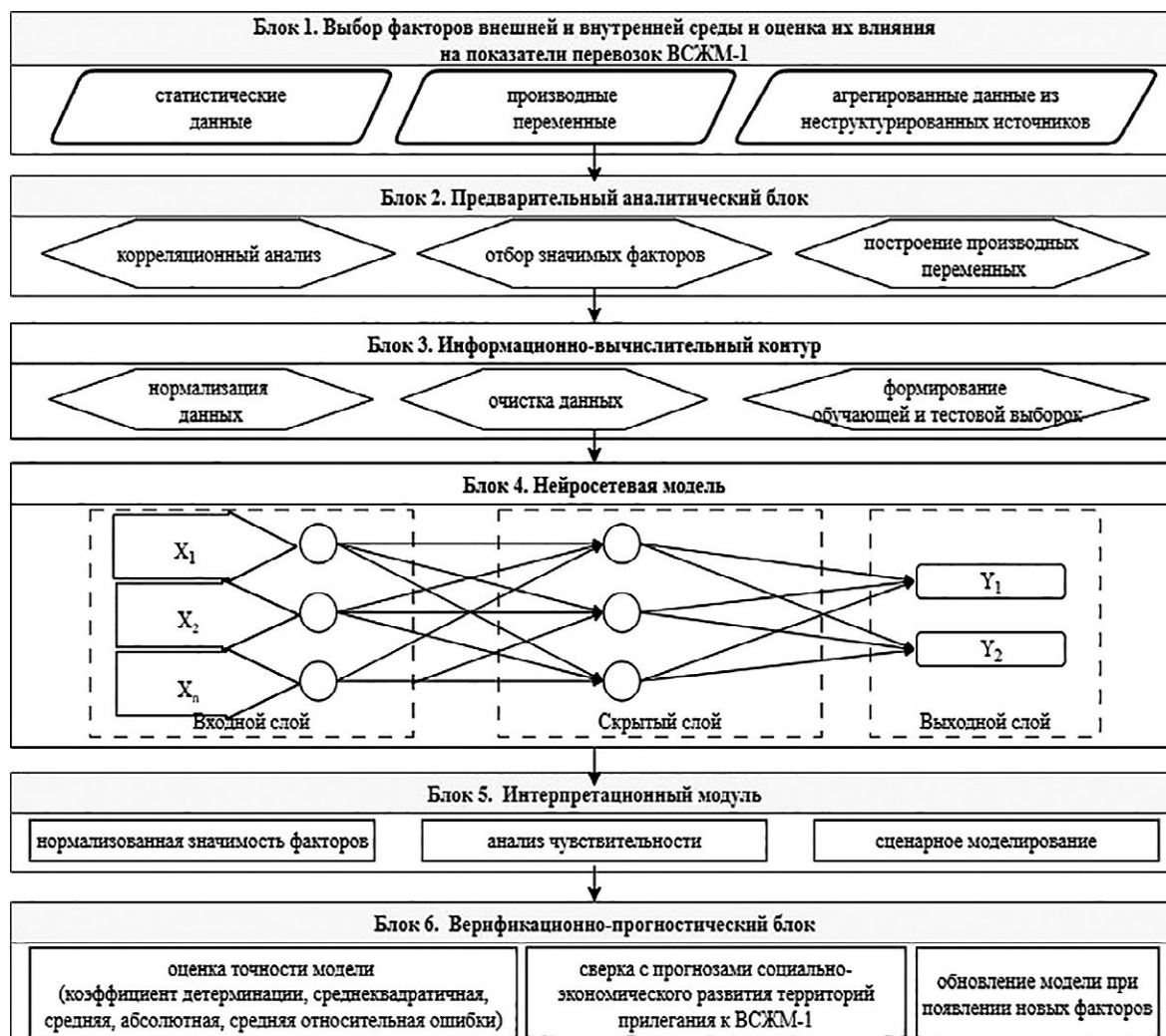


Рис. 2. Укрупненный алгоритм модели многослойного перцептрона в нейросетевой модели оценки эффектов высокоскоростного железнодорожного транспорта

Fig. 2. An enlarged algorithm of a multilayer perceptron model in a neural network model for assessing the effects of high-speed rail transport

Объем индуцированного спроса в общей структуре пассажиропотока на ВСЖМ-1 достаточно велик и составит от 40% в 2029 г. до 36% в 2052 г.

Индуцированный спрос будут формировать в основном рекреационные поездки жителей и ежедневная трудовая миграция. Доля последней в общем объеме индуцированного спроса составит 20% в 2032 г., увеличиваясь к 2052 г. до 27%.

4.2. Динамика годовых пассажиропотоков по ВСЖМ-1 в целом, на связях Москвы с крупными городами и на связях между крупными городами (Москва, Тверь, Великий Новгород, Санкт-Петербург) представлена на Рис. 4.

Учет неструктурированных данных и способность нейросети учитывать все возможные изменения геоэкономики, технических нововведений,

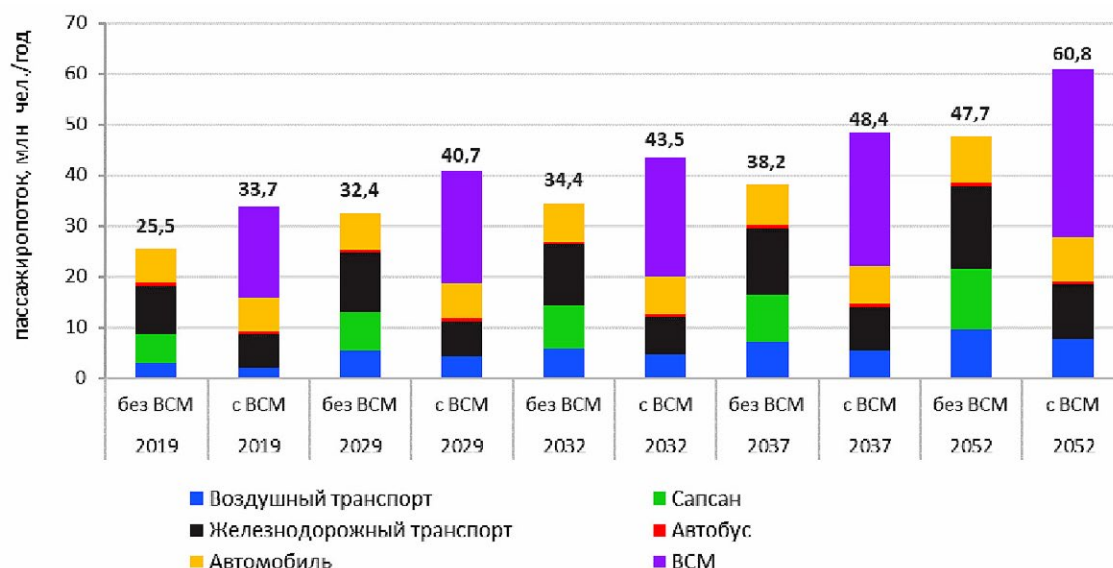


Рис. 3. Прогнозное распределение пассажиропотоков между видами транспорта при наличии и отсутствии ВСЖМ-1 на связи крупных городов

Fig. 3. Predicted distribution of passenger traffic between modes of transport in the presence and absence of the VSZhM-1 railway link between major cities

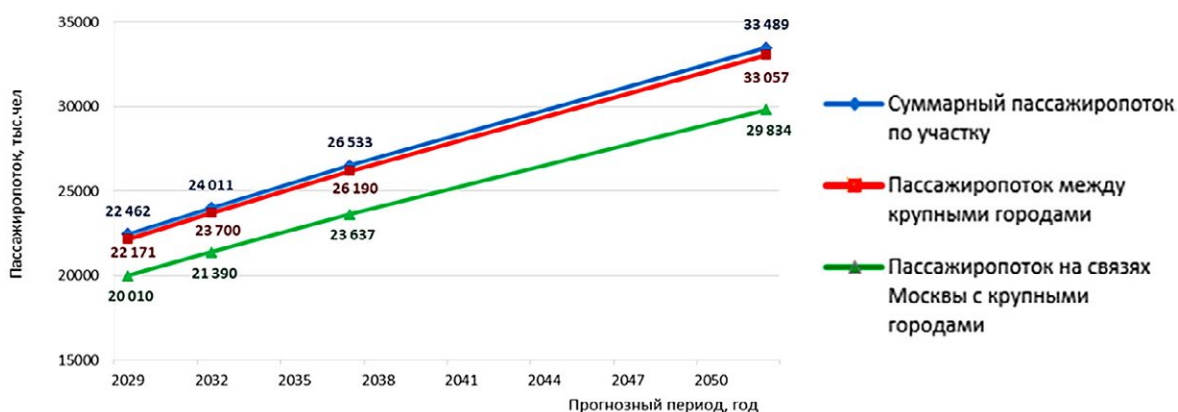


Рис. 4. Динамика годовых пассажиропотоков по ВСЖМ-1

Fig. 4. Dynamics of annual passenger traffic on the VSZhM-1 railway

мотивации и поведения пассажиров отражается на прогнозных значениях пассажиропотоков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С развитием инновационных транспортных систем, а именно, ВСЖТ, появляется множество вопросов, которые требуют дальнейшего обсуждения. Одним из важнейших остается понимание того, как высокоскоростные дороги

изменяют экономику регионов, повысят мобильность населения, а, значит, уровень доходов домашних хозяйств. Остаются открытыми ключевые вопросы соответствия капитальных расходов и эксплуатационных затрат проектов ВСМ их будущей доходности, построенной на прогнозах пассажиропотоков.

Полученные в исследовании результаты позволяют повысить достоверность обоснования проектов строительства ВСЖТ и могут быть частью их финансовых моделей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства железнодорожного транспорта (Росжелдор) на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев А.А., Талашкин Г.Н. Экономика инфраструктуры для высокоскоростного движения // Бюллетень результатов научных исследований. 2013. № 4 (9). С. 69-75. EDN: SERDED
2. Цыденов А.С. Создание высокоскоростных магистралей – залог успеха страны в настоящем и будущем // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2016. № 5 (66). С. 10–15. EDN: WZJSSH
3. Миронова И.А., Тищенко Т.И., Фролова М.П. Проблемы оценки социально-экономической эффективности крупномасштабного инфраструктурного проекта на примере высокоскоростной магистрали // Российский экономический журнал. 2022. №3. doi: 10.33983/0130-9757-2022-3-100-119
4. Журавлева Н.А. Экономическая оценка интермодальных эффектов высокоскоростных транспортных систем в экономике нового технологического уклада // Бюллетень результатов научных исследований. 2018. № 4. С. 31–40. EDN: YYSSED
5. Васильева М.Е., Волкова Е.М., Романов А.С. Интеллектуальные транспортные системы в Российских агломерациях: сущность, структура и направления развития // Инновационные транспортные системы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 117–128. doi: 10.17816/transsyst202394117-128
6. Росстат – Национальные счета [internet] Дата обращения: 14.07.2025. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>

7. Данные Комитета по развитию туризма Санкт-Петербурга. Отчет о ходе реализации Государственной программы Санкт-Петербурга «Развитие сферы туризма в Санкт-Петербурге» за 2019 год и за I полугодие 2020 года. [internet] Дата обращения: 14.07.2025. Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_tourism/otchet-na-pravitelstvo-o-hode-realizacii-gosudarstvennoj-programmy-san/
8. Данные Комитета по развитию туризма Санкт-Петербурга. Статистика развития туристического рынка. «Турбарометр Санкт-Петербурга 20232». Аналитические показатели туризма и индустрии гостеприимства Санкт-Петербурга в 2023 г. [internet] Дата обращения: 14.07.2025. Режим доступа: https://businessstat.ru/russia/services/hotels_and_tourism/tourism/?yclid=12898454363016527871
9. Толстых В.Н. Перцептрон, нейронная сеть. Что дальше? // Парадигма. 2022. № 37. EDN WLFBI
10. Wei Z., Liangheng Ch., Junke X. High-speed railway, market access and economic growth // International Review of Economics & Finance. Vol.76. doi: 10.1016/j.iref.2019.11.014
11. Cascetta E., Carteni A., Henke I., Pagliara F. Economic growth, transport accessibility and regional equity impacts of high-speed railways in Italy: ten years ex post evaluation and future perspectives // Transp Res Part A Policy Pract. 2020;139:412–428. doi: 10.1016/j.tra.2020.07.008

REFERENCES

1. Zaitsev AA, Talashkin GN. Economics of High-Speed Infrastructure. *Bulletin of scientific research results*. 2013;4(9):69–75. EDN: SERDED (In Russ.)
2. Tsidenov AS. The creation of high-speed highways is the key to the country's success in the present and future. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike*. 2016;5(66):10–15. EDN: WZJSSH
3. Mironova IA, Tishchenko TI, Frolova MP. Problems of assessing the socio-economic efficiency of a large-scale infrastructure project using the example of a high-speed highway. *Rossiiskii ekonomicheskii zhurnal*. 2022;3. (In Russ.) doi: 10.33983/0130-9757-2022-3-100-119
4. Zhuravleva NA. Economic assessment of intermodal effects of high-speed transport systems in the economy of the new technological order. *Bulletin of scientific research results*, 2018; 4:31-40. EDN: YYSSED (In Russ.)
5. Vasilyeva ME, Volkova EM, Romanov AS. Intelligent transport systems in Russian megacities: the essence, structure and directions of development. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(4):117–128. doi: 10.17816/transsyst202394117-128 (In Russ.)
6. Rosstat – Natsionalnie scheta [internet] Accessed: Jul 14, 2025 Available from: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> Accessed: Jul 14, 2025
7. Dannie Komiteta po razvitiyu turizma Sankt-Peterburga. Otchet o khode realizatsii Gosudarstvennoi programmi Sankt-Peterburga «Razvitie sferi turizma v Sankt-Peterburge» za 2019 god i za I polugodie 2020 goda. [internet] Accessed: Jul 14, 2025 Available from: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_tourism/otchet-na-pravitelstvo-o-hode-realizacii-gosudarstvennoj-programmy-san/ (In Russ.)

8. Dannie Komiteta po razvitiyu turizma Sankt-Peterburga. Statistika razvitiya turisticheskogo rinka. «Turbarometr Sankt-Peterburga 2023». Analiticheskie pokazateli turizma i industrii gostepriimstva Sankt-Peterburga v 2023 g. [internet] Accessed: Jul 14, 2025 Available from: https://businessstat.ru/russia/services/hotels_and_tourism/tourism/?yclid=12898454363016527871 (In Russ.)
9. Tolstikh VN. Pertseptron, neironnaya set. Chto dalshe? *Paradigma*, 2022;37. (In Russ.) EDN: WLFBI
10. Zou W, Chen L, Xiong J. High-speed railway, market access and economic growth. *International Review of Economics & Finance*. 2019. doi: 76. 10.1016/j.iref.2019.11.014.
11. Cascetta E, Cartenì A, Henke I, Pagliara F. Economic growth, transport accessibility and regional equity impacts of high-speed railways in Italy: ten years ex post evaluation and future perspectives. *Transp Res Part A Policy Pract.* 2020;139:412–428. doi: 10.1016/j.tra.2020.07.008

Сведения об авторах:

Журавлева Наталья Александровна, д-р экон. наук, профессор;
eLibrary SPIN: 8599-5636; ORCID: 0000-0003-3566-9225; Scopus ID: 56583893700;
E-mail: zhuravleva_na@mail.ru

Баталова Наталья Владимировна, старший преподаватель;
eLibrary SPIN: 4027-4771; ORCID: 0000-0002-5948-7226
E-mail: natalyabatalova@yandex.ru

Information about the authors:

Natalya A. Zhuravleva, Dr Sci. (Economics), Professor;
eLibrary SPIN: 8599-5636; ORCID: 0000-0003-3566-9225; Scopus ID: 56583893700;
E-mail: zhuravleva_na@mail.ru

Natalya V. Batalova, Senior Lecturer;
eLibrary SPIN: 4027-4771; ORCID: 0000-0002-5948-7226
E-mail: natalyabatalova@yandex.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst690105>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© Т.А. Крюкова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

НОВЫЙ ПОРЯДОК РАСЧЕТА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Обоснование. В экономическом обосновании проектов строительства железных дорог важнейшей задачей всегда является расчет будущих эксплуатационных расходов, позволяющих оценить эффективность проектных вложений.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью выработки новых методик оценки эксплуатационных расходов для высокоскоростных железнодорожных магистралей ввиду их отсутствия.

Цель. Формирование методического подхода по расчету эксплуатационных расходов для высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Санкт-Петербург».

Материалы и методы. Использованы алгоритмы методов расчета эксплуатационных расходов, применяемых в ОАО «РЖД», проведен анализ их применимости в проектах высокоскоростных железнодорожных магистралей; проведено измерение технических решений по объектам инфраструктуры.

Результаты. Обоснован метод расчета эксплуатационных расходов на высокоскоростную железнодорожную магистраль «Москва – Санкт-Петербург» по хозяйствам железнодорожного транспорта, а внутри каждого хозяйства – по статьям затрат.

Заключение. Предложенные метод и порядок расчета эксплуатационных расходов позволяет сформировать полную проектную документацию по строительству высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Санкт-Петербург».

Ключевые слова: эксплуатационные расходы; структура затрат; методы расчета; высокоскоростные железнодорожные магистрали; инновационные транспортные системы.

Как цитировать:

Крюкова Т.А. Новый порядок расчета эксплуатационных расходов для высокоскоростных железнодорожных магистралей // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 486–494. doi: 10.17816/transsyst690105

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© T.A. Kryukova

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

NEW OPERATING COST CALCULATION METHODS FOR HIGH-SPEED RAILWAY LINES

BACKGROUND: The most important and essential task of the return on investment study of railway construction projects is the calculation of future operating costs, allowing to assess the project investment performance.

Thus, we need to develop new methods for assessing operating costs of high-speed railway lines (HSRL) due to the lack of such methods.

AIM: The work aimed to develop a method to calculate operating costs of the Moscow–St. Petersburg high-speed railway line (HSRL 1).

METHODS: We employed operating cost calculation algorithms used by Russian Railways JSC; analyzed their applicability in HSRL projects, and evaluated infrastructure solutions.

RESULTS: We validated an operating cost calculation method for HSRL 1 by railway transport facilities and by their cost items.

CONCLUSION: The proposed operating cost calculation method and procedure allow for developing the complete design documentation for the HSRL 1 construction.

Keywords: operating costs; cost breakdown structure; calculation methods; high-speed railway lines; innovative transport systems.

To cite this article:

Kryukova TA. New operating cost calculation methods for high-speed railway lines. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):486–494. doi: 10.17816/transsyst690105

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт строительства и эксплуатации высокоскоростных железнодорожных магистралей (далее – ВСЖМ) свидетельствует о получении социально-экономических и общественных эффектов за счет их внедрения, в том числе выражающихся в повышении мобильности населения, улучшении транспортной доступности территорий и создании единого экономического пространства [1, 2]. При этом при строительстве ВСМ возникают новые, инновационные объекты железнодорожного транспорта, что требует выбора и возможной корректировки существующих методов расчета эксплуатационных расходов с целью повышения эффективности управления данными объектами и обоснования всей совокупности заявленных эффектов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте расчет эксплуатационных расходов предполагает определение затрат, связанных с непосредственным функционированием объектов основных средств и с ведением с их помощью хозяйственной деятельности. Выделяются две группы расходов: условно-постоянные, не связанные с объемом производства и реализации услуг, и условно-переменные, величина которых от них зависит [3]. В составе последних выделяют также регулярно возникающие расходы, к числу которых относится непосредственная эксплуатация и обслуживание объекта основных средств в процессе его эксплуатации, и периодически возникающие расходы – различные виды ремонтных работ, в ходе которых восстанавливается работоспособность как всего объекта основных средств, так и отдельных его элементов. Технология расчета эксплуатационных расходов предполагает наличие Стандарта на эксплуатацию, разрабатываемому в период проектирования работ. Частично стандартные требования к экологии, здоровью людей и рациональному использованию ресурсов изложены в национальном стандарте [4]. Существуют стандарты (правила) на проектирование и строительство ВСМ, однако стандарт по их эксплуатации на текущий момент отсутствует. В этих условиях расчет эксплуатационных расходов ведется только по материалам проектно-технической документации на строительство.

Целью данного исследования является разработка методики расчета эксплуатационных расходов проекта строительства ВСЖМ-1 (Москва – Санкт-Петербург) в отсутствии стандарта на эксплуатацию.

Эксплуатационные расходы на проект ВСЖМ являются предметом разработки проектно-строительной документации конкретной железной дороги, поэтому существует множество соответствующих научных работ. В данном исследовании мы учитывали работы А.В. Басовой [5], А.А. Бондаренко [6], Е.С. Сиверцевой [7], Л.М. Чеченовой [8, 9], Xiao J., Xie Y., Yu H.W. [10] и др. В условиях отсутствия конкретных данных об эксплуатации объектов ВСМ, авторами вопросы оценки чаще всего рассматриваются без указания каких-либо определенных маршрутов.

В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть порядок расчета расходов на эксплуатацию конкретной линии – ВСЖМ-1 «Москва – Санкт-Петербург».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Учет эксплуатационных расходов объектов железнодорожного транспорта осуществляется в соответствии с Классификаторами доходов и расходов субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок, утвержденными приказом Министерства транспорта РФ от 23.10.2018 г. № 373 в действующей редакции (далее – Классификаторы доходов и расходов) [11]. В соответствии с данным документом расчет должен быть детализированным по статьям расходов и центрам финансовой ответственности (Рис. 1).

Для достижения поставленной цели исследования автором был определен способ расчета затрат по каждой статье расходов из осуществленной выборки в разрезе элементов затрат – прямой расчет (полностью нормируемая величина, например, амортизация) и расчет опосредовано, через некую расчетную базу (например, пропорционально затратам по эксплуатируемым участкам скоростного движения магистрали Санкт-Петербург – Москва).

Для статей расходов и элементов затрат, по которым применим пропорциональный расчет, определяются показатели, влияющие на величину затрат по каждой статье расходов:

- а) линейная зависимость – расчет пропорционально затратам по эксплуатируемым участкам скоростного движения (участок скоростного движения Санкт-Петербург – Москва), коэффициент

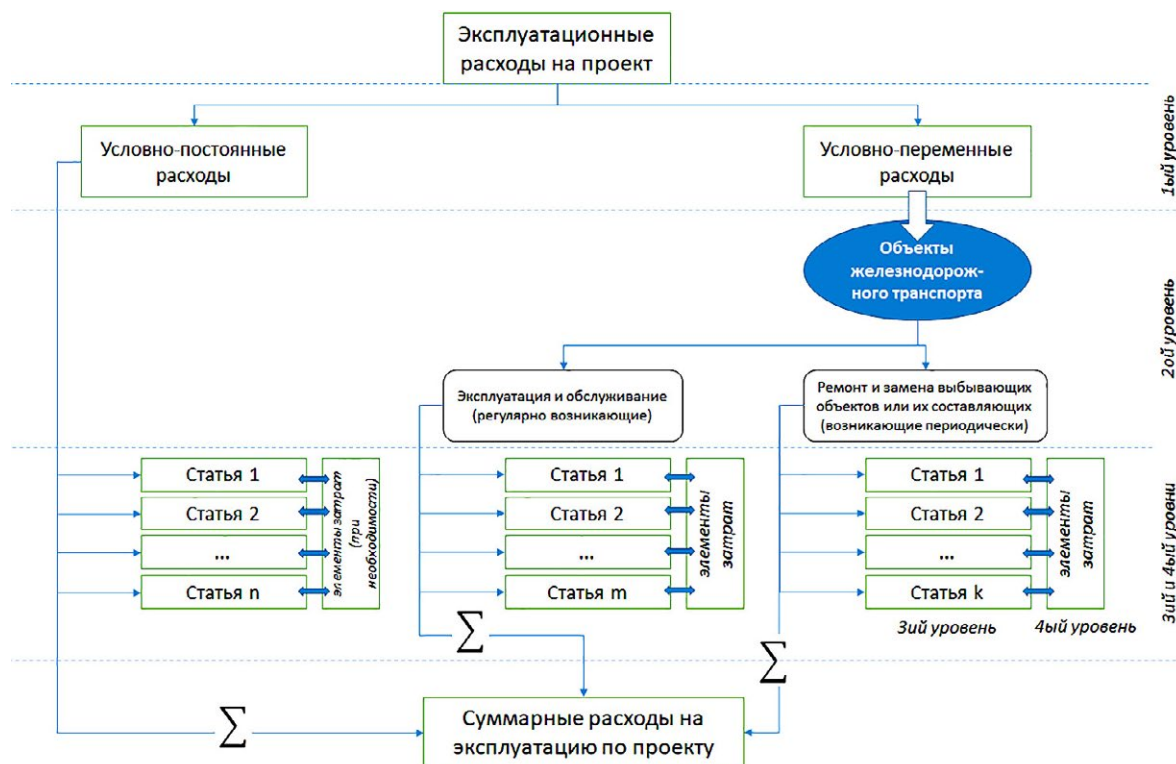


Рис. 1. Состав эксплуатационных затрат

Fig. 1. The composition of operating costs

- пересчета равен отношению проектных величин и статистических величин по эксплуатируемым участкам скоростного движения;
- б) нелинейная зависимость, но существуют аналоги – коэффициент пересчета равен соотношению затрат между различными значениями показателя;
- в) нелинейная зависимость, но аналогов нет – коэффициент определяется путем экспертных оценок исходя из параметров показателя.

Расчет стоимостного значения эксплуатационных затрат осуществлен по хозяйствам железнодорожного транспорта и статьям Номенклатуры доходов и расходов.

Далее, по каждому из хозяйств железнодорожного транспорта формируется сводный отчет эксплуатационных затрат по всем годам осуществления проекта. В частности, определен срок расчёта эксплуатационных расходов по ВСЖМ-1 на 35 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование показало, что для целей расчета эксплуатационных расходов на ВСМ целесообразно применять для разных групп объектов перечисленные ниже методы:

- метод укрупнения: когда разделение каких-либо видов работ по статьям невозможно, данные статьи укрупняются, либо если одна статья охватывает большое количество объектов/работ с разными характеристиками и порядком расчета затрат по ним – определяется укрупненный перечень объектов, относимых к данной статье (например, по искусственным сооружениям – водопропускные трубы и прочие искусственные сооружения (мосты, эстакады, путепроводы, пешеходные тоннели, служебные проходы)), из которых формируются группы объектов, по которым в дальнейшем производится расчет эксплуатационных затрат;
- метод прямого расчета, когда возможно определение полностью нормируемой величины элемента затрат, например, амортизации;
- опосредованный метод расчета, через некую расчетную базу (например, пропорционально затратам по эксплуатируемым участкам скоростного движения магистрали Санкт-Петербург – Москва) с определением показателей, влияющих на величину затрат по каждой статье расходов.

Для статей расходов и элементов затрат, по которым применим расчет по нормативам, определяется формула расчета в соответствии с действующими нормативными документами.

Для статей расходов и элементов затрат, по которым применим пропорциональный расчет, определяются показатели, влияющие на величину затрат по каждой статье расходов (и для каждой группы объектов, если таковое выделение будет иметь место согласно описанному выше примеру).

При линейной зависимости коэффициент пересчета будет равен отношению проектных величин и статистических величин по эксплуатируемым участкам скоростного движения; при нелинейной зависимости и наличии аналогов – соотношению затрат между различными значениями показателя; при нелинейной

зависимости и отсутствии аналогов коэффициент пересчета будет определяться путем экспертных оценок исходя из параметров показателя.

С помощью использования статей Классификатора по хозяйствам определяется область применения приведенных ранее методов расчета, (Табл. 1).

Таблица 1. Область применения методов расчета эксплуатационных расходов

Table 1. Application of operating costs calculation methods

№ п/п	Номер и наименование статьи расходов по Классификатору доходов и расходов, где был использован метод	Наименование использованного метода
1.	Статья 2302 «Техническое обслуживание и текущий ремонт устройств автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации как самостоятельное средство сигнализации и связи»	метод укрупнения
2.	Статья 2303 «Техническое обслуживание устройств диспетчерской централизации»	метод укрупнения
3.	Статья 2304 «Техническое обслуживание электрической централизации стрелок и светофоров»	метод укрупнения
4.	Статья 2306 «Техническое обслуживание приборов железнодорожной автоматики и телемеханики»	метод укрупнения
5.	Статья 2308 «Техническое обслуживание прочих средств железнодорожной автоматики и телемеханики»	метод укрупнения
6.	Статья 2309 «Диагностика устройств СЦБ»	метод укрупнения
7.	Статья 2402 «Техническое обслуживание радиостанций, радиоузлов и усилителей»	метод укрупнения
8.	Статья 2228 «Капитальный ремонт объектов транспортировки холодной воды»	метод прямого расчета
9.	Статья 2229 «Капитальный ремонт объектов холодного водоснабжения»	метод прямого расчета
10.	Статья 2232 «Капитальный ремонт объектов водоотведения и очистки сточных вод»	метод прямого расчета
11.	Статья 2233 «Капитальный ремонт объектов транспортировки сточных вод»	метод прямого расчета
12.	Статья 2057 «Содержание пунктов оказания медицинской помощи на вокзалах»	метод прямого расчета
13.	Статья 4003 «Прием и выдача багажа во внутригосударственном сообщении»	метод прямого расчета
14.	Статья 4008 «Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава в дальнем следовании»	метод прямого расчета
15.	Статья 2003 «Обслуживание зданий, сооружений и оборудования пассажирского хозяйства, связанных с пассажирскими перевозками в дальнем следовании»	метод прямого расчета
16.	Статья 2101 «Работы по текущему содержанию верхнего строения пути (главные пути)»	расчет по нормативам

№ п/п	Номер и наименование статьи расходов по Классификатору доходов и расходов, где был использован метод	Наименование использованного метода
17.	Статья 2106 «Работы по снего-, водо- и пескоборьбе»	опосредованный метод расчета
18.	Статья 2515 «Диагностика контактной сети мобильными средствами диагностики»	опосредованный метод расчета

Источник: составлено автором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье приведен оригинальный методический подход, описывающий характер влияния проектных решений и условий функционирования ВСЖМ на отдельные статьи затрат, формирующий перечень, состав и структуру расходов по хозяйствам ВСЖМ, включающий способ расчета затрат по каждой статье расходов из осуществленной выборки в разрезе элементов затрат, обосновывающий применение определенного метода расчета к каждой группе статей затрат. Этот подход позволяет на этапе проектирования ВСЖМ оценить расходы на ее эксплуатацию. К сожалению, отсутствие иных методик не позволило авторам провести сравнительный анализ других подходов к расчетам эксплуатационных расходов на ВСЖМ. Сжатые сроки на проектирование и строительство ВСЖМ-1 «Москва – Санкт-Петербург» и отсутствие утвержденного стандарта на эксплуатацию ВСЖМ позволяют использовать данный методический подход в комплексе проектной документации, подлежащей Государственной экспертизе.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declare that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волкова Е.М. Факторы, определяющие успех реализации проектов строительства высокоскоростных магистралей // Транспортные системы и технологии. 2020. Т. 6, № 2. С. 5–19. doi: 10.17816/transsyst2020625-19 EDN: PRINYY
2. Плаксин А.В., Давыдов С.С. Классификация и механизм формирования эффектов от реализации проектов высокоскоростных железнодорожных магистралей. В кн.: Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем: Сборник научных статей VII международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19 декабря 2019 года / Под ред. Н.А. Журавлевой. Санкт-Петербург: Институт независимых социально-экономических исследований – оценка, 2019. С. 633–637. EDN: YKJHU
3. Экономика железнодорожного транспорта: учебник / под ред. Н.П. Терёшиной, Л.П. Левицкой, Л.В. Шкуриной. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012.

4. ГОСТ Р 70049-2022: Оценка соответствия. Требования устойчивого развития к объектам инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта. Режим доступа: <https://star-pro.ru/gost/r-70049-2022>.
5. Басова А.В. Маржинальный подход к анализу эксплуатационных расходов в организациях железнодорожного транспорта. В кн.: Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей: Сборник научных статей национальной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 16 июня 2020 года / под редакцией Н.А. Журавлевой. Т. 1. Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Институт независимых социально-экономических исследований – оценка», 2020. С. 17–23. EDN: YBVQKR
6. Бондаренко А.А. Управление эксплуатационными расходами компаний железнодорожного транспорта // Управленческий учет. 2019. № 11. С. 3–11. EDN: AWNSKD
7. Сиверцева Е.С. Факторы, влияющие на оптимизацию эксплуатационных расходов инфраструктуры железнодорожного транспорта. В кн.: Актуальные вопросы экономики высоких скоростей: Сборник научных статей Национальной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25 апреля 2017 г. / под ред. Н.А. Журавлевой. Санкт-Петербург: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2017. С. 380–384. EDN: YRLNCY
8. Чеченова Л.М. Методология оценки результатов оптимизации эксплуатационных расходов инфраструктурных единиц железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог. 2021. № 12. С. 65–75. EDN: VFXIDZ
9. Чеченова Л.М. Решения для оптимизации эксплуатационных расходов на железнодорожном транспорте // Вопросы новой экономики. 2021. № 2(58). С. 61–66. doi: 10.52170/1994-0556_2021_58_61 EDN: GQVHGO
10. Xiao J., Xie Y., Yu H.W. An Optimization Method for the Train Service Network Design Problem // Discrete dynamics in nature and society. 2020. P. 1–18. doi: 10.1155/2020/9519267 EDN: QTSUGO
11. Приказ Минтранса РФ от 23.10.2018 № 373 «Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок». Дата обращения: 21.06.2025. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/>

REFERENCES

1. Volkova EM. Factors Determining the Success of HSR Building Projects. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(2):5–19. (In Russ.) doi: 10.17816/transsyst2020625-19 EDN: PRIHYY
2. Plaksin AV, Davydov SS. Classification and mechanism of formation of effects from the implementation of high-speed railway projects. In: *Development of economic science in transport: the economic basis of the future of transport systems: Collection of scientific articles of the VII International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, December 19, 2019 / Edited by Zhuravleva NA*. Saint Petersburg: Institute of Independent Socio-Economic Research – assessment. 2019;633–637. (In Russ.) EDN: YKAJHU

3. Tereshina NP, Levitskaya LP, Shkurina LV (eds). *Economics of railway transport: textbook*. Moscow: Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport; 2012. (In Russ.)
4. GOST R 70049-2022: Conformity assessment. Sustainable development requirements for objects of high-speed railway infrastructure. Accessed: 21.06.2025. Available from: <https://star-pro.ru/gost/r-70049-2022>. (In Russ.)
5. Basova AV. A marginal approach to the analysis of operating costs in railway transport organizations. In: *Current issues of the economy of high-speed transport: Collection of scientific articles of the National Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, June 16, 2020*. Zhuravleva NA. (ed.) St. Petersburg: Institute of Independent Socio-Economic Research – assessment; 2020;1:17–23. (In Russ.) EDN: YBVQKR
6. Bondarenko AA. Management of operating expenses of railway transport companies. *Management accounting*. 2019;11:3–11. (In Russ.) EDN: YBVQKR
7. Sivertseva ES. Factors influencing optimization of operational costs of railway transport infrastructure. In: *Current issues of high-speed economics: Collection of scientific articles of the National Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 25, 2017*. Zhuravleva NA. (ed.) Saint Petersburg: International Center for Scientific Research Projects; 2017:380–384. (In Russ.) EDN: YRLNCY
8. Chechenova LM. Methodology for evaluating the results of optimizing the operating costs of railway infrastructure units. *Economics of railways*. 2021;12:65–75. (In Russ.) EDN: VFXIDZ
9. Chechenova LM. Solutions for optimizing operating costs in railway transport // *Issues of the New Economy*. 2021;2(58):61–66. (In Russ.) doi: 10.52170/1994-0556_2021_58_61 EDN: GQVHGO
10. Xiao J, Xie Y, Yu HW. An Optimization Method for the Train Service Network Design Problem. *Discrete dynamics in nature and society*. 2020;(3):1–18. doi: 10.1155/2020/9519267 EDN: QTSUGO
11. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 373 dated October 23, 2018 “On approval of the Procedure for keeping separate records of income and expenses by subjects of natural monopolies in the field of railway transportation”. Accessed: 21.06.2025. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/> (In Russ.)

Сведения об авторе:

Крюкова Татьяна Анатольевна, экономист;

eLibrary SPIN: 7655-5509; ORCID: 0009-0003-7929-1380;

E-mail: tatjanka_@mail.ru

Information about the author:

Tatyana A. Kryukova, Economist;

eLibrary SPIN: 7655-5509; ORCID: 0009-0003-7929-1380;

E-mail: tatjanka_@mail.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689332>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© А.А. Леонтьев¹, Р.А. Летнев²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

² Управляющая компания «ПромТехКом»
(Москва, Россия)

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА И СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Обоснование. Важнейшим приоритетным направлением обеспечения экономической эффективности транспорта является повышение доходов от грузовых и пассажирских перевозок, а также снижение единовременных и эксплуатационных затрат в течение жизненного цикла проектов развития железнодорожной инфраструктуры. В исследовании выявляется целесообразность применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути для обеспечения получения различных эффектов при выполнении перевозок железнодорожным транспортом.

Цель. Разработка основания применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути, обеспечивающих высокие эксплуатационные показатели и снижение издержек, связанных с созданием и эксплуатацией транспортной инфраструктуры.

Материалы и методы. Методология исследования основана на теории экономической эффективности, позволяющей оценить, как отдельные эффекты от применения инновационных технологий устройства железнодорожного пути, так и интегральный эффект в течение жизненного цикла проекта.

Результаты. Разработка методики определения эффектов от применения инновационных технологий устройства железнодорожного пути в течение жизненного цикла проекта.

Заключение. Разработанная методика имеет практическое применение при обосновании применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути при строительстве, реконструкции, капитальном и текущем ремонтах.

Ключевые слова: инновационные технологии; эффективность перевозок; экономический эффект.

Как цитировать:

Леонтьев А.А., Летнев Р.А. Методика обоснования инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 495–508. doi: 10.17816/transsyst689332

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© A.A. Leontiev¹, R.A. Letnev²

¹ Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

² Management company “PTK Group”
(Moscow, Russia)

SUBSTANTIATION OF INNOVATIVE RAILWAY TRACK CONSTRUCTION AND MAINTENANCE TECHNOLOGIES

BACKGROUND: The most important priority approach to ensuring transport economic efficiency is increasing revenue from freight and passenger transportation and reducing one-time and operating costs during the life cycle of railway infrastructure development projects. The study analyses the feasibility of innovative railway track construction and maintenance technologies to achieve various effects for railway transportation.

AIM: The work aimed to develop a basis for the use of innovative railway track construction and maintenance technologies ensuring high operational performance and reducing the cost of construction and operation of the transport infrastructure.

METHODS: The research method is based on the theory of economic efficiency allowing to evaluate both the individual effects of innovative railway track construction technologies and the integral effect during the life cycle of a project.

RESULTS: We developed a method to determine the effects of innovative railway track construction technologies during the life cycle of a project.

CONCLUSION: The developed method may be used to substantiate the use of innovative railway track construction and maintenance technologies in construction, reconstruction, major repairs, and maintenance projects.

Keywords: innovative technologies; transportation performance; economic effect.

To cite this article:

Leontiev AA, Letnev RA. Substantiation of innovative railway track construction and maintenance technologies. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):495–508. doi: 10.17816/transsyst689332

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развитие транспортных систем Российской Федерации возможно, прежде всего, за счет внедрения инновационных технологий. Такие технологии должны быть основаны на принципах интеллектуального, технологического, технического и экономического суверенитетов. Это позволит повысить эффективность функционирования такой стратегической, системообразующей отрасли, как железнодорожный транспорт, даже в условиях активного противодействия со стороны недружественных государств, ранее активно сотрудничавших с нашей страной.

Рациональное управление железнодорожными перевозками позволит повысить конкурентоспособность железных дорог по сравнению с другими видами транспорта, особенно в рамках организации международных транспортных коридоров. Это возможно за счет увеличения эксплуатационных показателей, таких как, грузо- и пассажирооборот, скорость движения поездов, так и за счет снижения издержек на реализацию проектов по строительству, реконструкции, капитальным и текущим ремонтам объектов транспортной инфраструктуры в течение всего жизненного цикла проекта. Значительную роль при этом играют технологии, позволяющие создать и эксплуатировать железнодорожные пути с применением новых материалов, конструкций, машин и механизмов более высокой производительности. Проекты, направленные на улучшения ведения деятельности (в том числе на основе технологий, рассматриваемых в данном исследовании), являются по сути инвестиционными: требуют оценки как стоимости, так и предварительных эффектов реализации.

Под эффектом инвестиционного проекта понимается положительное последствие реализации инвестиционного проекта, способствующее достижению показателей экономической эффективности и целевых показателей инвестиционного проекта (дополнительные доходы, экономия эксплуатационных расходов, улучшение условий и охраны труда работников компании, повышение транспортной доступности, повышение безопасности пассажиров и населения, изменение числа рабочих мест в субъекте Российской Федерации и т.д.).

Совершенствование технологий содержания верхнего строения пути можно разделить на два основных направления [2]:

- применение новых конструкций железнодорожного пути;
- совершенствование технологий содержания железнодорожного пути.

Новые конструкции железнодорожного пути предполагают применение рельсов дифференцированного термоупрочнения, скреплений с повышенным сроком службы, новых конструкций шпал (шпал с повышенным сопротивлением сдвигу, шпал с подшпальными прокладками, безбалластный путь, плитный путь, рамный путь, путь со шпалами из новых материалов), применение балласта оптимальной толщины и щебня повышенной прочности, применение подбалластного защитного слоя.

Изменения в конструкции пути требуют совершенствования технологий для его устройства и содержания. Необходимы: комплекс машин для укладки рельсовых плетей, желательно с одновременным вводом их в оптимальный

режим; комплекс щебнеочистительной техники, имеющий возможности укладки подбалластного защитного слоя на действующем пути. Требуется произвести совершенствование технологий выправки пути с уплотнением балласта.

Для обоснованной оценки уровня влияния новых технологий, используемых для устройства и содержания железнодорожных путей, определяются эффекты, которые могут быть достигнуты при их внедрении. Кроме того, разрабатывается методика оценки потенциальных эффектов для различных заказчиков, в том числе эксплуатирующих организаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве информационного обеспечения оценки эффектов от применения новых технологий в разрабатываемой методике выступают натуральные и стоимостные показатели проекта, изменяемые технические и технологические параметры, которые могут быть получены как расчётным путем, так и в результате нормативных наблюдений и обработки статистических данных при реализации инновационных решений устройства и содержания железнодорожного пути на опытных участках.

Для оценки эффектов необходимы статистические и прогнозные (расчетные) значения эксплуатационных и экономических показателей филиала (полигона) до реализации проекта и после. Исходные данные должны содержать информацию о параметрах перевозки (грузо- и пассажирооборот, скорость движения поездов и т.п.), единовременных (капитальных) вложениях и эксплуатационных затратах, о производительности и стоимости эксплуатации машин и механизмов, используемых при строительных и ремонтных работах как при существующих, так и инновационных технологиях устройства и содержания железнодорожного пути.

Для корректной оценки эффектов необходимо определить степень влияния новых технологий на стоимостные и эксплуатационные параметры железнодорожного пути.

Оценка эффектов возможна в рамках отдельного филиала ОАО «РЖД» или его части (полигона), на котором осуществляется реализация проекта по внедрению инновационной технологии строительства, реконструкции, капитального и текущего ремонта железнодорожного пути.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный анализ влияния применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути на технические и эксплуатационные параметры объекта железнодорожной инфраструктуры позволил выявить следующие эффекты:

- повышение скоростей движения поездов;
- снятие ограничений скоростей на участках с «больным» земляным полотном;
- обеспечение тяжеловесного движения;
- сокращение парка щебнеочистительной и выправочной техники (циклического действия);

- увеличение межремонтных интервалов;
- сокращение затрат на текущее содержание пути;
- снижение потребности в «окнах» на производство работ по различным видам ремонта пути в течение всего жизненного цикла в соответствии с существующей и проектной схемой ремонтов пути.

При оценке эффектов от применения рассматриваемых технологий, используются значения сравниваемых показателей «с проектом» и «без проекта». Эффект рассчитывается путем сопоставления денежных потоков, возникающих при внедрении предлагаемых технологий, с денежными потоками, которые имели бы место, если бы их внедрение не проводилось [5].

Эффекты от повышения скоростей движения и от снятия ограничений скоростей на участках с большим земляным полотном выражаются в следующем:

- получение дополнительных доходов, связанных с увеличивающимися после внедрения технологии объемами перевозок грузов и пассажиров, и с оптимизацией перевозочного процесса;
- сокращение затрат, пропорциональных продолжительности нахождения поезда в движении по участку (условно-переменных, зависящих расходов);
- снижение затрат, связанных с задержкой в движении поездов.

Эффекты от обеспечения тяжеловесного движения выражаются в следующем:

- увеличение доходов и прибыли компании в результате увеличения провозной способности участка и освоения дополнительных объемов перевозок грузов;
- сокращение текущих затрат на содержание локомотивного парка и локомотивных бригад, удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов и др.

Эффект от сокращения парка щебнеочистительной и выправочной техники (циклического действия) выражается в снижении затрат на эксплуатацию техники за счет сокращения ее количества при увеличении производительности работы.

Эффект от увеличения межремонтных интервалов и сокращения затрат на текущее содержание пути выражается в снижении суммарной стоимости жизненного цикла конструкции между капитальными ремонтами за счет изменения его временных, стоимостных и качественных параметров.

Эффекты от снижения потребности в «окнах» на производство работ по различным видам ремонта пути в течение всего жизненного цикла в соответствии с существующей проектной схемой ремонтов пути выражаются в следующем:

- получение дополнительных доходов, связанных с увеличением провозной способности участка и освоением дополнительных объемов перевозок грузов;
- снижение затрат, связанных с задержкой в движении поездов.

Для определения вышеуказанных эффектов необходимо сформировать базу данных, представленную в таблице.

Таблица. Исходные данные для определения эффектов от применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути

Table. Inputs used to determine the effects of innovative railway track construction and maintenance technologies

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Источник информации
Время хода пары поездов по перегону, станционные интервалы	J_p	Мин.	График движения поездов
Тонно-километровая работа по грузовым перевозкам	Pl	Тонно км нетто	ЦО-12 «Отчет о перевозках грузов, их пробегах и полученном за них доходе»
Пассажирооборот	Al	Пасс-км	ЦО-14 «Отчет о перевозках пассажиров по субъектам Российской Федерации»
Среднесетевая доходная ставка по грузовым перевозкам	$d_{зр}$	Руб./10 тонно-км	ЦО-12 «Отчет о перевозках грузов, их пробегах и полученном за них доходе»
Среднесетевая доходная ставка по пассажирским перевозкам	d_{nac}	Руб./10 пасс-км	ЦО-22 «Отчет о перевозках пассажиров и доходах от этих перевозок»
Средняя себестоимость по грузовым перевозкам	$c_{зр}$	Руб./10 тонно-км	7-у предприятие
Удельный вес «условно-переменных» (зависящих) затрат в составе полной себестоимости по грузовым перевозкам	γ	%	Определяется методами математической статистики по укрупненным видам работ
Единичные расходные ставки по измерителям эксплуатационной работы	e_i	Руб.	Распоряжение ОАО «РЖД» «Об актуализации документов по расчету единичных и укрупненных расходных ставок и оценочных уровней затрат» № 344/р от 14.02.2025
Укрупненные расходные ставки «поездо-час в грузовом движении» и др.	E_i	Руб.	
Участковая скорость движения поездов, техническая скорость движения поездов	$V_{уч}$ V_{tex}	Км/ч	ЦО-1 «Отчет о наличии, распределении, работе и использовании подвижного состава»
Масса поезда брутто	$Q_{бр}$	Тонн	ЦО-1 «Отчет о наличии, распределении, работе и использовании подвижного состава»
Цена на энергоресурсы (дизельное топливо/электроэнергию) для тяговых нужд	$e_{ТЭР}$	Руб.	Отчет «Анализ использования топливно-энергетических ресурсов в ОАО «РЖД»

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Источник информации
Годовой объем производства щебнеочистительной, выправочной техники и другой техники, применяемой при новой технологии	Vi	Км/год	Планы производства работ по капитальным, средним, подъемочным ремонтам, планово-предупредительной выправки пути
Годовые текущие затраты с учетом налога на имущество на эксплуатацию щебнеочистительной, выправочной техники и другой техники, применяемой при новой технологии	$Zmgi$	Тыс.руб./год	Калькуляция
Ставка дисконтирования в год	E	–	Определяется распоряжением ОАО «РЖД»
Расчетный период (срок полезного использования) щебнеочистительной, выправочной техники и другой техники, применяемой при новой технологии	Ti	Год	Налоговый кодекс Российской Федерации
Инвестиционные (единовременные) затраты на приобретение щебнеочистительной, выправочной техники и другой техники, применяемой при новой технологии	K	Руб.	Стоимость приобретения оборудования
Стоимость капитального ремонта пути 1 уровня	C_{KPH}	Руб./км	Расчет сметной стоимости
Стоимость капитального ремонта пути 3 уровня	C_{KPH3}	Руб./км	Расчет сметной стоимости
Стоимость среднего ремонта пути	C_{CP}	Руб./км	Калькуляция
Стоимость подъемочного ремонта пути	$C_{ПР}$	Руб./км	Калькуляция
Стоимость планово-предупредительной выправки пути	$C_{ПП}$	Руб./км	Калькуляция

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Источник информации
Средние нормы выработки в отдельное «окно» машинных комплексов для очистки балласта на всех видах ремонтных работ	H_{OO}	М/сут.	Данные разработчика новой технологии
Средние нормы выработки в совмещенное «окно» машинных комплексов для очистки балласта на всех видах ремонтных работ	H_{CO}	М/сут.	Данные разработчика новой технологии
Средние нормы выработки в отдельное «окно» машинных комплексов для замены балласта на всех видах ремонтных работ и текущем содержании пути при балластировке на один слой (два слоя)	$H_{OOЗБ}$	М/сут.	Данные разработчика новой технологии
Средние нормы выработки в совмещенное «окно» машинных комплексов для замены балласта на всех видах ремонтных работ и текущем содержании пути при балластировке на один слой (два слоя)	$H_{COЗБ}$	М/сут.	Данные разработчика новой технологии
Средние нормы выработки в отдельное «окно» машинных комплексов при балластировке и выправке пути на всех видах ремонтных работ и при текущем содержании пути	H_{OOTC}	М/сут.	Данные разработчика новой технологии
Средние нормы выработки в совмещенное «окно» машинных комплексов при балластировке и выправке пути на всех видах ремонтных работ и при текущем содержании пути	H_{COTC}	М/сут.	Данные разработчика новой технологии

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Источник информации
Потери поездо-часов в «окно» для основных и дополнительных работ	P'_t	час	Определяют с учетом типа линии (однопутная или двухпутная) и организацию движения (пропуска) поездов во время «окна» (пакетный, непакетный, соединенный, односторонний или двусторонний) [7]
Потери поездо-часов графиковых поездов из-за пропуска ремонтной техники	P''_t	час	Определяют с учетом типа линии (однопутная или двухпутная) и организацию движения (пропуска) поездов во время «окна» (пакетный, непакетный, соединенный, односторонний или двусторонний) [7]
Стоимость 1 ч простоя поезда	$C_{пч}$	Руб./час	Данные ОАО «РЖД» для конкретного полигона
Длина фронта работ, выполняемых в «окно»	l_0	Км	Расчет согласно исходным данным ОАО «РЖД» для конкретного полигона
Число поездов, проследовавших по участку с предупреждением об ограничении скорости	$n_{при}$		Расчет согласно исходным данным ОАО «РЖД» для конкретного полигона
Затраты, связанные с энергетическими потерями одного поезда (из-за торможения и разгона) при изменении ходовой скорости до установленной ограничением	d_1	Руб.	Расчет согласно исходным данным ОАО «РЖД» для конкретного полигона
Временные потери из-за задержки одного поезда из-за снижения скорости движения поездов	d_2	Руб.	Расчет согласно исходным данным ОАО «РЖД» для конкретного полигона

Источниками информации для формирования Табл. являются:

- конкретные формы управленческой или статистической отчетности Холдинга «РЖД» [9];
- нормативно-правовые документы [1, 3, 4, 8];
- данные распорядительных документов или данные, полученные расчетным способом [5–7];

- данные разработчиков новых технологий устройства и содержания железнодорожного пути;
- паспортные данные технических средств.

На основе проведенных исследований предложена методика определения эффектов от применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути, представленная в виде алгоритма (рис.).

Применение инновационных технологий обеспечивает возможные дополнительные доходы, связанные с увеличением объемов перевозок грузов и пассажиров (увеличением пропускной способности полигона железной дороги), с оптимизацией перевозочного процесса и сокращением затрат, пропорциональных продолжительности нахождения поезда в движении по участку (условно-переменных). Однако, увеличение скорости движения, организация движения тяжеловесных поездов, и, как следствие, более интенсивное использование железнодорожной инфраструктуры, может повлечь за собой дополнительные расходы по ее содержанию и обеспечению безопасности перевозок.

Алгоритм определения интегральной оценки (Рис. п. 3) предусматривает учет взаимного влияния отдельных эффектов (Рис. п. 2), т.к. факторы (параметры расчета), вызывающие увеличение одного эффекта, могут приводить к уменьшению другого эффекта. Одним из методов решения этой задачи может



Рис. Алгоритм определения эффектов от применения новых технологий

Fig. Flow chart used to determine the effects of new technologies

являться ранжирование полученных эффектов и присвоения им коэффициентов влияния для получения общей интегральной оценки внедрения новой технологии. Второй метод интегральной оценки может быть основан на расчете экономической эффективности проекта применения новой технологии в течение жизненного цикла с одновременным учетом эффектов, обеспечивающих дополнительные доходы, и эффектов, обеспечивающих сокращение затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были обоснованы эффекты от применения инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути. Был определен перечень статистических и прогнозных (расчетных) значений эксплуатационных и экономических показателей, которые необходимы для оценки выявленных эффектов.

Для каждого эффекта определен алгоритм его расчета в зависимости от влияния на увеличение доходов или сокращения затрат в течение жизненного цикла проектов развития железнодорожной инфраструктуры при использовании инновационных технологий устройства и содержания железнодорожного пути.

Предлагаемая в исследовании методика позволит заказчикам и эксплуатирующим организациям проводить технико-экономическое обоснование при использовании новых технологий устройства и содержания железнодорожного пути на всех этапах жизненного цикла проектов развития железнодорожной инфраструктуры (строительство, реконструкция, капитальный ремонт, эксплуатация).

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классификаторы доходов и расходов субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок – Приложение №1 к Порядку ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок»: утв. Приказом Министерства транспорта Российской Федерации № 373 от 23.10.2018: в ред. Приказа Минтранса России от 07.06.2021 № 176. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/>
2. Отчет «Оказание услуг по оценке прогнозируемых эффектов от внедрения технологии формирования подбалластного защитного слоя железнодорожного пути» договор № 5739553 от 26.06.2024. Институт прикладной экономики и бухгалтерского учета железнодорожного транспорта ФГБОУ ВО ПГУПС, 2024.

3. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации «Методика определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования» № 266 от 18.07.2018. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71910552/>
4. Приказ Федеральной службы по тарифам от 27 июля 2010 г. № 156-Т/1 «Об утверждении тарифов, сборов и платы на работы (услуги), связанные с перевозкой пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования во внутригосударственном сообщении и пробегом пассажирских вагонов, выполняемые в составе дальних поездов ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Федеральная пассажирская компания», ОАО «Пассажирская компания «Сахалин», ОАО «АК «Железные дороги Якутии» и на работы (услуги) по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, оказываемые ОАО «Российские железные дороги», ОАО «АК «Железные дороги Якутии», при данных перевозках, цен (тарифов) на работы (услуги) ...» (с изменениями и дополнениями). Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104553/
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 28.11.2008 № 2538р «Методические рекомендации по расчету экономической эффективности новой техники и технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений» (в ред. № 2288р от 10.11.2009). Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <http://scbist.com/2005-2008-gody/25274-2538r-ot-28-noyabrya-2008-g-o-metodicheskikh-rekomendaciyah-po-raschetu-ekonomicheskoi-effektivnosti-novoi-tehniki-tehnologii-obektov-intellektualnoi-sobstvennosti-i-racionalizatorskih-predlozhenii.html>
6. Распоряжение ОАО «РЖД» «Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути» № 2288р от 14.11.2016 (в ред. от 13.12.2023 № 3167/р). Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71764006/>
7. Распоряжение ОАО «РЖД» «Об утверждении Инструкции о порядке планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД» (Вместе с Инструкцией)» №3403/р от 28.12.2023. Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/akt_forma/0/instruktsiya_o_poryadke_planirovaniya_predostavleniya.html
8. Сроки полезного использования железнодорожного подвижного состава, земляного полотна, мостов, тоннелей, других сооружений, машин и оборудования, прочих основных средств ОАО «РЖД» – Приложение № 5 к Указателю инвентарных объектов основных средств ОАО «РЖД», утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 395р от 13.03.2007 (в ред. Распоряжения ОАО «РЖД» № 2918/р от 28.11.2024). Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902117283>
9. Формы сводной управленческой отчетности о результатах ведения раздельного учета доходов и расходов субъектов естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок – Приложение № 4 к Порядку ведения

раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок», утв. Приказом Министерства транспорта Российской Федерации № 373 от 23.10.2018 (в ред. Приказа Минтранса России от 07.06.2021 № 176). Дата обращения: 05.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_317330/

REFERENCES

1. Klassifikatory` doxodov i rasxodov sub`ektov estestvenny`x monopolij v sfere zheleznodorozhny`x perevozok – Prilozhenie №1 k Poryadku vedeniya razdel`nogo ucheta doxodov i rasxodov sub`ektami estestvenny`x monopolij v sfere zheleznodorozhny`x perevozok”: utv. Priказом Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii № 373 ot 23.10.2018 : v red. Prikaza Mintransa Rossii ot 07.06.2021 № 176. Accessed: 05.06.2025. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72064780/> (In Russ.)
2. Otchet “Okazanie uslug po ocenke prognoziruemyy`x e`ffektov ot vnedreniya texnologii formirovaniya podballastnogo zashhitnogo sloya zheleznodorozhnogo puti” dogovor №5739553 ot 26.06.2024. Institut prikladnoj e`konomiki i buxgalterskogo ucheta zheleznodorozhnogo transporta FGBOU VO PGUPS; 2024. (In Russ.)
3. Prikaz Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii «Metodika opredeleniya propusknoj i provoznoj sposobnostej infrastruktury` zheleznodorozhnogo transporta obshhego pol`zovaniya» № 266 ot 18.07.2018. Accessed: 05.06.2025. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71910552/> (In Russ.)
4. Prikaz Federal`noj sluzhby` po tarifam ot 27 iyulya 2010 g. № 156-t/1 “Ob utverzhdenii tarifov, sborov i platy` na raboty` (uslugi), svyazanny`e s perevozkoj passazhirov zheleznodorozhny`m transportom obshhego pol`zovaniya vo vnutrigosudarstvennom soobshhenii i probegom passazhirskix vagonov, vy`polnyaemy`e v sostave dal`nix poezdov OAO “Rossijskie zhelezny`e dorogi”, OAO “Federal`naya passazhirskaya kompaniya”, OAO «Passazhirskaya kompaniya “Saxalin”, OAO “AK Zhelezny`e dorogi Yakutii» i na raboty` (uslugi) po ispol`zovaniyu infrastruktury` zheleznodorozhnogo transporta obshhego pol`zovaniya, okazy`vaemy`e OAO “Rossijskie zhelezny`e dorogi”, OAO “AK “Zhelezny`e dorogi Yakutii”, pri danny`x perevozках, cen (tarifov) na raboty` (uslugi) ...» (s izmeneniyami i dopolneniyami). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy` “Konsul`tant”. Accessed: 05.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104553/ (In Russ.)
5. Rasporyazhenie OAO “RZhd” ot 28.11.2008 № 2538r “Metodicheskie rekomendacii po raschetu e`konomicheskoy e`ffektivnosti novoj texniki i texnologii, ob`ektov intellektual`noj sobstvennosti i racionalizatorskix predlozhenij” (v red. № 2288r ot 10.11.2009). Accessed: 05.06.2025. Available from: <http://scbist.com/2005-2008-gody/25274-2538r-ot-28-noyabrya-2008-g-o-metodicheskix-rekomendaciyah-po-raschetu-ekonomicheskoi-effektivnosti-novoi-tehniki-tehnologii-obektov-intellektualnoi-sobstvennosti-i-racionalizatorskix-predlozhenii.html> (In Russ.)
6. Rasporyazhenie OAO “RZhd” «Instrukciya po tekushhemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti» №2288r ot 14.11.2016 (v red. ot 13.12.2023 № 3167/r).

- Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy` “GARANT”. URL: <https://base.garant.ru/71764006/>.
7. Rasporyazhenie OAO “RZhD” “Ob utverzhdenii Instrukcii o poryadke planirovaniya, predostavleniya, ispol’zovaniya i ucheta “okon” dlya rabot na infrastrukture OAO “RZhD” (Vmeste s Instrukciej)” №3403/r ot 28.12.2023. Accessed: 05.06.2025. Available from: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/akt_forma/0/instruktsiya_o_poryadke_planirovaniya_predostavleniya.html (In Russ.)
 8. Sroki poleznogo ispol’zovaniya zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava, zemlyanogo polotna, mostov, tonnelej, drugix sooruzhenij, mashin i oborudovaniya, prochix osnovny`x sredstv OAO “RZhD” – Prilozhenie № 5 k Ukazatelyu inventarny`x ob`ektov osnovny`x sredstv OAO “RZhD”, utv. Rasporyazheniem OAO «RZhD» № 395r ot 13.03.2007 (v red. Rasporyazheniya OAO “RZhD” № 2918/r ot 28.11.2024). Accessed: 05.06.2025. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/902117283> (In Russ.)
 9. Formy` svodnoj upravlencheskoj otchetnosti o rezul’tatax vedeniya razdel’nogo ucheta doxodov i raschodov sub`ektov estestvenny`x monopolij v sfere zheleznodorozhny`x perevozok – Prilozhenie № 4 k Poryadku vedeniya razdel’nogo ucheta doxodov i raschodov sub`ektami estestvenny`x monopolij v sfere zheleznodorozhny`x perevozok», utv. Prikazom Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii № 373 ot 23.10.2018 (v red. Prikaza Mintransa Rossii ot 07.06.2021 № 176). Accessed: 05.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_317330/ (In Russ.)

Сведения об авторах:

Леонтьев Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Экономика и менеджмент в строительстве»;

eLibrary SPIN: 9049-1847; ORCID: 0000-0002-1218-5984;

E-mail: leontyev@mail.ru

Летнев Роман Александрович, заместитель генерального директора,

Управляющая компания «ПромТехКом»;

eLibrary SPIN: 2503-8972;

E-mail: 7493@svmail.ru

Information about the authors:

Alexander A. Leontiev, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Economics and Management in Construction;

eLibrary SPIN: 9049-1847; ORCID: 0000-0002-1218-5984;

E-mail: leontyev@mail.ru

Roman A. Letnev, Deputy General Director Management company “PTK Group”;

eLibrary SPIN: 2503-8972;

E-mail: 7493@svmail.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689333>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© А.Е. Федоров^{1,2}

¹ Отраслевой центр разработки и внедрения информационных систем
(Москва, Россия)

² Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ, КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Оценка влияния цифровых технологий мониторинга и предиктивной диагностики на российские стандарты, отраслевые нормативные документы по вопросам управления жизненным циклом активов, на практики внедрения цифровых проектов в области технологий мониторинга и предиктивной диагностики на железнодорожном транспорте.

Результаты. Систематизированы методические подходы к управлению жизненным циклом подвижного состава и дана оценка состояния нормативной базы железнодорожной отрасли в этой области, а также особенности использования предиктивного подхода в управлении жизненным циклом подвижного состава. Уточнен механизм воздействия цифровых технологий мониторинга и предиктивной аналитики на управление жизненным циклом, выделены ключевые драйверы возникающих эффектов. Раскрыты преимущества формирования доверенной среды информационного взаимодействия для различных стейкхолдеров – участников жизненного цикла грузовых вагонов.

Заключение. Результаты исследования позволяют оценить влияние технологий мониторинга и предиктивной аналитики на управление жизненным циклом железнодорожного подвижного состава, полученные выводы будут полезны при планировании и выполнении проектов цифровизации в этой области, а также при проведении научных исследований и разработке отраслевой нормативной документации.

Ключевые слова: управление жизненным циклом активов; техническое обслуживание и ремонт; PLM; предиктивное обслуживание; цифровизация.

Как цитировать:

Федоров А.Е. Цифровые технологии мониторинга и предиктивной диагностики, как инструмент управления жизненным циклом подвижного состава // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 509–521. doi: 10.17816/transsyst689333

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© A.E. Fedorov^{1,2}

¹ Industry Center for Development and Information Systems
(Moscow, Russia)

² Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

DIGITAL MONITORING AND PREDICTIVE TEST TECHNOLOGIES AS A ROLLING STOCK LIFE CYCLE MANAGEMENT TOOL

AIM: The work aimed to assess the effect of digital monitoring and predictive test technologies on Russian standards, industry regulations on asset life cycle management, and the implementation of digital monitoring and predictive test projects in the railway transport sector.

RESULTS: The study arranges the rolling stock life cycle management methods and assesses the state of the railway industry regulatory framework in this area and special aspects of using a predictive approach to manage the life cycle of rolling stock. The study updates the understanding of how digital monitoring and predictive analytics technologies influence life cycle management and identifies key drivers of the resulting effects. In addition, it reveals the benefits of a trusted communication environment for various stakeholders involved in the life cycle of freight cars.

CONCLUSION: The study will allow for assessing the impact of monitoring and predictive analytics technologies on the life cycle management of railway rolling stock; the findings will be useful for planning and implementing digital transformation projects in this area, research, and development of the industry regulations.

Keywords: asset life cycle management; maintenance and repair; product lifecycle management; predictive maintenance; digital transformation.

To cite this article:

Fedorov AE. Digital monitoring and predictive test technologies as a rolling stock life cycle management tool. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):509–521. doi: 10.17816/transsyst689333

ВВЕДЕНИЕ

Развитие высокоскоростных железных дорог – ключевой фактор модернизации транспортной системы Российской Федерации, повышающий мобильность населения и экономическую связанность регионов. Однако эксплуатация подвижного состава на скоростях свыше 250 км/ч требует принципиально новых подходов к обеспечению безопасности и надежности. Цифровые технологии мониторинга и предиктивной диагностики помогают решать эту важную задачу.

В условиях санкционного давления и курса на технологический суверенитет разработка отечественных решений в этой области приобретает стратегическое значение. Таким образом, исследование влияния указанных цифровых технологий на управление жизненным циклом подвижного состава железнодорожного транспорта не только отвечает запросам отрасли, но и вносит вклад в формирование конкурентоспособной и эффективной цифровой экономики России.

Экономические аспекты управления активами и их жизненным циклом, внедрения цифровых технологий и цифровых платформ исследовались в ряде работ. Например, Н.А. Журавлевой проведен анализ направлений повышения эффективности транспортных систем и создания новых бизнес-моделей на основе внедрения передовых цифровых технологий [1]. В работах Е.М. Волковой выделяются положительные эффекты использования цифровых технологий в городских транспортных системах [2]. Анализу экономической природы цифровых платформ посвящены исследования В.П. Третьяка и М.А. Лякиной [3]. Цифровые решения в секторе производства железнодорожного подвижного состава и технологии интернета вещей (IoT – Internet of Things) в транспортном комплексе изучались И.М. Гулым [4, 5]. Вопросы разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений и предиктивной диагностики подвижного состава на ходу поезда рассматривались А.С. Ададуновым и А.С. Семеновым [6]. С. Панов и А. Николов анализировали системы и методы предиктивного технического обслуживания промышленного оборудования [7].

Вместе с тем вопросы влияния цифровых технологий мониторинга и предиктивной диагностики на жизненный цикл активов железнодорожного транспорта, с учетом опыта практического внедрения этих технологий требуют более детального анализа. Цель данной статьи – оценить влияние цифровых технологий мониторинга и предиктивной диагностики на управление жизненным циклом грузовых вагонов.

ТРАНСФОРМАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ АКТИВОВ

Для целей исследования важно проанализировать эволюцию методических подходов к управлению жизненным циклом активов. Жизненный цикл изделия – это совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования изделия от его проектирования и производства до утилизации [8]. Классический подход к управлению жизненным циклом предполагает поддержку концепции PLM (Product lifecycle management).

Концепция PLM стала эффективным подходом к управлению жизненным циклом в случае, если все его этапы от начала до утилизации находились внутри одной компании. В реальной практике зачастую роли участников разделены между разными юридическими лицами (изготовитель / владелец / эксплуатирующая компания), поэтому возникали сложности с комплексным управлением жизненным циклом актива. Каждый из участников обладает лишь определенной информацией об объекте. Как результат, возникают ошибки при передаче документации, несоответствие запчастей при ремонте, неполная информация об отказах и прогнозе износа, задержки в принятии решений, что приводит к удорожанию стоимости всего жизненного цикла актива.

С развитием информационных технологий произошла трансформация подхода с акцентом на возможность управления жизненным циклом в интегрированной информационной среде. Эта идея стала базовой при выработке концепции CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла. CALS объединила принципы и технологические возможности информационной поддержки жизненного цикла актива для всех участников процесса: производителей, заказчиков, эксплуатационных и ремонтных компаний, государственных органов.

Современные передовые практики основаны на концепции проактивного управления жизненным циклом изделий Proactive PLM (Proactive Product lifecycle management). Эта концепция предполагает непрерывное электронное описание, преобразование и использование информации всеми специалистами, сопровождающими изделие на протяжении всего жизненного цикла. Цель проактивного управления – заранее предотвращать предпосылки возникновения нештатных ситуаций, минимизировать будущие проблемы, улучшать следующие поколения продукции.

Важно отметить, что Proactive PLM – стратегический инструмент, который влияет на проектирование и производство объекта. А Predictive Maintenance (предиктивное обслуживание) – тактический инструмент, который помогает избежать поломок во время эксплуатации и оптимизировать затраты.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДИКТИВНОГО ПОДХОДА В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Российским стандартом в рассматриваемой области является ГОСТ 31539-2012 «Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения». Управление жизненным циклом здесь включает классические этапы: Проектирование → Строительство → Эксплуатация → Ремонт → Утилизация. Для управления жизненным циклом грузовых вагонов определяющим документом является ГОСТ Р 71141-2023 «Вагоны грузовые. Установление назначенных межремонтных нормативов. Общие положения», который устанавливает регламенты для определения сроков проведения деповского и капитального ремонтов, а также критерии списания вагонов (износ, аварийные

повреждения). Его дополняют РД 32 ЦВ 168-2017 «Руководство по капитальному ремонту грузовых вагонов», РД 32 ЦВ 169-2017 «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм. Руководство по деповскому ремонту». Система технического обслуживания и ремонта здесь основана на планово-предупредительном ремонте (ППР) с регламентными работами по фиксированному графику. При этом не учитывается реальный износ, а, значит, возможен перерасход ресурсов, избыточные затраты, дополнительные простои, недостоверность данных. Кроме того, в отраслевых стандартах слабо регламентированы цифровизация и использование общих данных о полной истории жизненного цикла объекта. Все это является существенным ограничением для достижения эффективности при применении рассматриваемой системы технического обслуживания и ремонта.

Следует отметить, что в ОАО «РЖД» для управления надёжностью, безопасностью, рисками, затратами с учётом аспектов долговечности и человеческого фактора разработана отечественная методология **«Управление ресурсами, рисками на всех этапах жизненного цикла объектов и техники на основе анализа надёжности» – УРРАН** [12]. Она ориентирована на оценку и обеспечение надёжности и безопасности перевозочного процесса. В основе лежит RAMS-подход, необходимый для оценки вероятности отказов, времени восстановления и безопасности. В рамках данной методологии управление инвестициями осуществляется с учётом стоимости жизненного цикла объектов железнодорожного транспорта, их долговечности, возможности технического обслуживания по фактическому состоянию, а также оценки имеющихся рисков.

В последние годы в ОАО «РЖД» используются и элементы подходов Proactive PLM и Predictive Maintenance. Однако комплексной методики, фиксирующей эти принципы во всей их полноте и взаимосвязи с цифровыми технологиями, нет.

Для эффективного применения принципов Proactive PLM и Predictive Maintenance необходимо:

- 1) Обеспечение требуемого массива данных для мониторинга и диагностики состояния объектов в оперативном режиме.
- 2) Разработка алгоритмов контроля данных, модели прогнозной аналитики по состоянию объектов.
- 3) Формирование общей интегрированной информационной среды для всех участников жизненного цикла.

Сделать это можно, сочетая ряд «сквозных» цифровых технологий, приведенных в Табл. 1.

В «Стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года определены направления внедрения цифровых технологий в рамках цифровых платформ [13]. В качестве основного подхода рассматривается внедрение нескольких сквозных цифровых технологий в составе комплексного решения, закрывающего бизнес-задачу.

В частности, цифровизация процессов мониторинга и предиктивной диагностики объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта и подвижного состава выполняется в рамках **платформы «Оператор линейной**

Таблица 1. Цифровые технологии для мониторинга и предиктивной диагностики**Table 1.** Digital monitoring and predictive test technologies

№	Цифровая технология	Назначение
1	Интернет вещей (IoT)	обеспечивает непрерывный или периодический сбор данных о состоянии объектов с помощью датчиков и IoT-устройств
2	Высокоскоростная передача данных (сети 5G)	передача данных без задержек для мониторинга в реальном времени
3	Цифровые двойники (Digital Twins)	виртуальные копии реальных объектов, которые позволяют моделировать различные сценарии работы.
4	Аналитика больших данных (Big Data)	обработка больших массивов информации для выявления закономерностей и отклонений.
5	Машинное обучение (ML) и искусственный интеллект (AI)	анализ данных с целью предсказания будущих неисправностей.
6	Облачные вычисления и платформы (Cloud Computing)	технологии для хранения и обработки данных с возможностью удаленного доступа.
7	Распределенные реестры (Blockchain)	обеспечение защищенного обмена данными об истории жизненного цикла
8	Роботизация и автоматизация (Robotics)	промышленные роботы и автономные ремонтные системы, программные роботы для автоматизации процессов диагностики и ремонта
9	Виртуальная и дополненная реальность (AR/VR)	поддержка диагностики оборудования и удаленной экспертизы

инфраструктуры» [14]. Примером практической реализации здесь является ряд цифровых проектов, направленных на разработку BIM-системы управления жизненным циклом объектов инфраструктуры, цифровое моделирование, предиктивную аналитику и прогнозирование технического состояния путей, управление жизненным циклом путевых машин и механизмов, предиктивный анализ и диагностику технического состояния грузовых вагонов по ходу поезда.

Рассмотрим более подробно последнее направление и попытаемся оценить влияние цифровых технологий мониторинга и предиктивной диагностики на управление жизненным циклом грузовых вагонов

АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА И ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Развитие системы диагностики, основанной на автоматизированном мониторинге и прогнозировании неисправностей, позволяющей максимально исключить влияние человеческого фактора, является приоритетной задачей, в том числе для ЦДИ РЖД [15].

Цифровое решение основано на обработке информации, считываемой на постах автоматизированного приема и диагностики подвижного состава (ППСС). Датчики фиксируют отклонение параметров узла вагона, например рост температуры баксы выше критического уровня. На основании этих данных алгоритм искусственного интеллекта определяет риск отказа узла (заклинивания подшипника через N км пробега) и помогает диспетчеру оперативно принять решение о направлении вагона на внеплановый отцепочный ремонт до отказа. Схема работы цифрового решения приведена на Рис. 1.

Информация об отказах накапливается в общей интегрированной информационной среде (распределенной базе данных на blockchain) и может быть доступна не только эксплуатирующей организации, но и другим участникам жизненного цикла: производителю детали для усовершенствования конструкции и анализа ситуации по конкретному объекту, владельцу вагона – для планирования затрат на ремонты.

В Табл. 2 представлены направления воздействия цифровых технологий, возникающие на каждом из этапов жизненного цикла вагонов, и сделана попытка определить степень их значимости.

Как видно из данных, представленных в таблице, цифровые технологии меняют технологические процессы (сбор данных, планирование, выполнение работ, закупки), трансформируют подход к ТОиР от реактивного к проактивному управлению активами, оказывая влияние на все этапы жизненного цикла.

Систематизируя влияние технологий мониторинга и предиктивной диагностики на жизненный цикл вагона, можно отметить, что самое значимое воздействие направлено на этап эксплуатации. Основные драйверы возникающих при этом эффектов следующие:

Изменение технологии работы за счет внедрения автоматизированных систем диагностики (например, ППСС на сортировочных станциях вместо осмотрщиков вагонов). Повышение эффективности планирования, контроля, выполнения и анализа операций технического и коммерческого осмотра грузовых

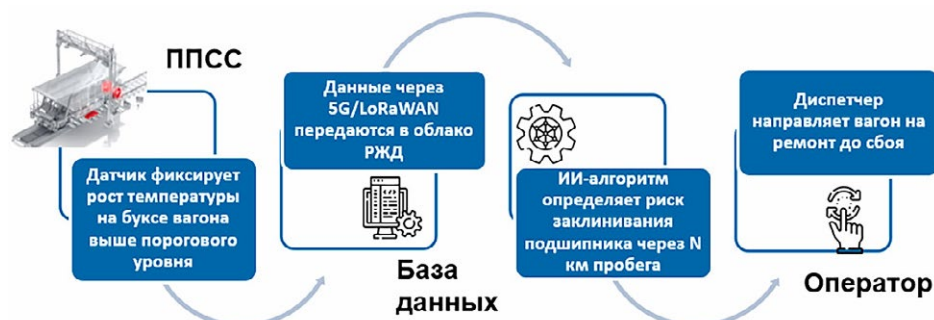


Рис. 1. Схема работы цифровой технологии мониторинга и предиктивной диагностики узлов грузовых вагонов

Fig. 1. Flow chart of digital monitoring and predictive testing of freight car units

Таблица 2. Влияние цифровых технологий мониторинга и предиктивной диагностики на жизненный цикл грузовых вагонов**Table 2.** Impact of digital monitoring and predictive test technologies on the life cycle of freight cars

Этап жизненного цикла	Влияние	Значимость
Проектирование	Использование данных с датчиков эксплуатируемых вагонов для улучшения новых моделей. Прогнозирование уязвимых узлов для совершенствования конструкции на основе исторических данных отказов.	++
Приобретение/ Производство	Контроль качества сборочной линии с цифровой моделью спроектированного объекта. Прогнозный анализ надежности комплектующих.	+
Эксплуатация и Обслуживание	Непрерывный мониторинг состояния узлов (подшипники, колесные пары, тормоза). Прогнозирование остаточного ресурса деталей. Оптимизация графиков ТО и ремонтов. Переход от планово-предупредительного к ремонту по фактическому состоянию. Автоматическое формирование заявок на ремонт. Оптимизация запасов запчастей.	++++
Модернизация	Обоснование экономической эффективности модернизации. Выбор оптимальных решений для апгрейда.	+
Утилизация	Точное определение остаточного ресурса вагона Оптимизация сроков списания. Контроль экологических показателей.	+

вагонов (за счет автоматического мониторинга, текущего или прогнозного технического состояния грузовых вагонов, плановых и неплановых ремонтов). Прогнозирование момента наступления функционального отказа узла вагона и выявление отказов на ранней стадии.

Как результат, сокращаются затраты на технический и коммерческий осмотр грузового вагона на станции за счет снижения численности осмотрщиков вагонов и приемщиков поездов; затраты на отцепки вагонов и простой грузового поезда после его формирования, на маневровую работу при уменьшении количества отцепок.

Вместе с этим цифровые технологии предиктивной диагностики, влияют на всю модель **управления жизненным циклом вагонов**. В процессе эксплуатации накапливается большой объем информации о состоянии вагона и его узлов. При этом на каждом этапе участники дополняют общую картину своей информацией. Разрозненные между участниками жизненного цикла грузового вагона данные объединяются на общей цифровой платформе для всех заинтересованных сторон. Организованная таким образом **доверенная**

среда позволяет построить систему информационного взаимодействия между участниками, сокращая их транзакционные издержки за счет прозрачности, скорости доступа к данным, достоверности и автоматизации процессов.

В Табл. 3 выделены основные факторы, обеспечивающие преимущества построения такой доверенной среды.

Таблица 3. *Преимущества доверенной среды информационного взаимодействия*

Table 3. *Benefits of a trusted communication environment*

№	Фактор	Характеристика
1	Контроль жизненного цикла объектов	Технология позволяет обеспечить сквозной процесс контроля жизненного цикла вагонов и их деталей. При этом создаются условия для контроля легальности объектов, проверка гарантий качества, прозрачности истории на основе цифрового паспорта объекта.
2	Анализ на достоверных исторических данных	В процессе внедрения с накоплением объёма информации нарастают возможности анализа характеристик объектов и данных о состоянии и эксплуатации. Информация поступает из единого достоверного источника всем заинтересованным сторонам.
3	Сквозной расчет стоимости жизненного цикла	Появляется возможность выполнить сквозной автоматизированный расчет стоимости жизненного цикла объекта с динамическим обновлением данных, быстрым пересчетом при изменении условий эксплуатации и доступом к этой информации для всех участников.
4	Сокращение транзакционных затрат	Формируется платформа отраслевого взаимодействия, которая обеспечивает ускорение процессов обмена информацией и оптимизации транзакционных затрат в целом.
5	Преимущества платформенного подхода	Предоставляется возможность работы заинтересованных участников на торговой площадке с механизмами купли/продажи объектов с прозрачной, подтвержденной электронным цифровым паспортом историей. С ростом количества участников сетевые эффекты повышают ценность платформы.

При данном подходе каждый участник жизненного цикла имеет возможность сфокусироваться на важных для него преимуществах в соответствии со своими бизнес-интересами. Карта интересов стейкхолдеров приведена на Рис. 2.

Важно отметить, что цифровая технология здесь не просто меняет процессы обработки информации, изменяется сама система отношений хозяйствующих субъектов в единой цифровой платформе. Построение такой доверенной среды обеспечивает выгоду и снижение затрат для всех заинтересованных сторон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведен анализ трансформации методических подходов к управлению жизненным циклом активов. Отмечен переход от классического PLM с фокусом на процессы в рамках одной компании к интегрированному подходу

на основе Proactive PLM с изменением принципов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) от реактивного и профилактического к предиктивному обслуживанию по состоянию объектов. Это существенно снижает затраты на этапе эксплуатации изделия.



Рис. 2. Карта интересов стейкхолдеров – участников жизненного цикла

Fig 2. Map of stakeholder (life cycle participants) interests

Выявлена необходимость создания общей информационной среды для расчета и управления полной стоимостью жизненного цикла актива, а также доступа к данным для всех участников процесса управления жизненным циклом.

Проведена оценка текущего состояния отраслевой нормативной базы и преимуществ использования предиктивного подхода в управлении жизненным циклом активов железнодорожного транспорта. Выявлено, что отраслевые методики построены на походе к ТОиР на основе ППР и сфокусированы прежде всего на процессах управления рисками и безопасностью при эксплуатации объектов. Отмечено, что мировой опыт и подходы Proactive PLM внедряются недостаточно масштабно. В качестве сдерживающих факторов выделены технические ограничения, отсутствие полной интегрированной информационной среды для улучшения возможностей обмена и доступа к данным, недостаточный существующий уровень цифровой зрелости, а также состояние развития нормативной базы, в основном выстроенной на принципах классических PLM-подходов. Отмечено, что в последние годы подходы Proactive PLM и Predictive Maintenance все больше становятся основой целевой модели управления активами на железнодорожном транспорте. Это подтверждается внедрением целого ряда цифровых проектов.

В рамках анализа внедрения этих проектов проведен отбор технологий для мониторинга и предиктивной диагностики из числа «сквозных» цифровых технологий. Определены эффекты по этапам жизненного цикла грузовых вагонов.

Проведен анализ влияния на участников жизненного цикла грузовых вагонов формирования доверенной среды информационного взаимодействия. Разработана карта интересов стейк-холдеров – участников жизненного цикла, подтверждающая, что построение такой доверенной среды обеспечивает выгоду и снижение затрат для всех заинтересованных сторон.

Автор заявляет, что настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The author declare that this article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлева Н.А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 3(82). С. 19–22. EDN: JKHHBW
2. Волкова Е.М. Проблемы оценки экономических эффектов от использования цифровых технологий в городских транспортных системах // Бюллетень результатов научных исследований. 2019. № 1. С. 59–68. doi: 10.20295/2223-9987-2019-1-59-68 EDN: ZAJPBZ
3. Третьяк В.П., Лякина М.А. Цифровая платформа – продукт квазиинтегрированных систем // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2020. № 1. С. 61–73. doi: 10.24866/1813-3274/2020-1/61-73 EDN: UVTRVM
4. Гулый И.М. Цифровые решения в секторе производства железнодорожного подвижного состава // Транспортное дело России. 2020. № 5. С. 38–41. EDN: TJHDYY
5. Гулый И.М. Технологии интернета вещей (IoT) в транспортном комплексе и их экономические последствия // Экономические науки. 2020. № 193. С. 216–219. doi: 10.14451/1.193.216 EDN: YDQMNM
6. Ададуров А.С. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений и предиктивной диагностики стационарными средствами диагностики подвижного состава на ходу поезда. В кн.: II Международная конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт»: Сборник материалов конференции, Москва, 24–25 августа 2023 года. М.: ВНИИЖТ, 2023. С. 13–17. EDN: ZHARYR
7. Panov S. Review of standards and systems for predictive maintenance // Science, Engineering and Education. 2021. Vol. 6, No. 1. P. 65–73. doi 10.59957/see.v6.i1.2020.1 EDN: QSDQWQ
8. ГОСТ Р 56136-2014. «Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения». М.: Стандартинформ, 2014. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <http://gost.gtsever.ru/Data/587/58768.pdf>
9. CALS Continuous Acquisition and Lifecycle Support. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/53201>

10. ISO 55000:2014 Asset management - Overview, principles and terminology. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <http://gost.gtserver.ru/Data/588/58869.pdf>
11. ГОСТ 31539-2012 Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Термины и определения. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=181157>
12. Замышляев А.М., Шубинский И.Б., Бубликова М.А. УПРАН – система управления техническими активами на железнодорожном транспорте. В кн.: Труды АО "НИИАС": Сборник статей. Т. 1. Вып. 11. М.: Т8 Издательские Технологии, 2021. С. 67–82. EDN: NPFUUE
13. Стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» до 2025 года (СИТ-2025). Утверждена советом директоров ОАО «РЖД» (протокол от 6 апреля 2023 г. N 10). Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/307861>
14. Платформа операторов линейной инфраструктуры. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <https://rzdigital.ru/platforms/platforma-operatorov-lineynoy-infrastruktury/>
15. Сапетов М.В. Вагонный комплекс: текущие вопросы, перспективы на будущее // Евразия Вести. 2022. № XII. Дата обращения: 20.04.2025. Режим доступа: <http://eav.ru/publ1.php?publ1d=2022-12a07/>

REFERENCES

1. Zhuravleva NA. Problems of introduction of digital technologies in transport. *Transport Rossijskoj Federacii*. 2019;3(82):19–22. (In Russ). EDN: JKHHBW
2. Volkova EM, Lyakina MA, Strimovskaya AV. Problems of economic effects assessment from digital technologies applying in urban transport systems. *Bulletin of scientific research results*. 2019;(1):59–68. (In Russ). doi: 10.20295/2223-9987-2019-1-59-68 EDN: ZAJPBZ
3. Tretyak VP, Lyakina MA. Digital platform – quasi-integrated systems product. *PACIFIC RIM: Economics, Politics, Law*. 2020;(1):61–73. (In Russ). doi: 10.24866/1813-3274/2020-1/61-73 EDN: UVTRVM
4. Gulyi IM. Digital solutions in the railway rolling stock production sector. *Transport business of Russi*. 2020;(5):38–41. (In Russ). EDN: TJHDYY
5. Gulyi I.M., Internet of things (iot) technologies in the transport sector and their economic consequences. *Scientific Journal Economic Sciences*. 2020;(193):216–219. (In Russ). doi 10.14451/1.193.216 EDN: YDQMHH
6. Adadurov AS, Semenova AS. Intellectual systems of decision-making support and predictive diagnostics by stationary means of rolling stock diagnostics on the train running course. *II International Conference "Science 1520 VNIIZHT": Look beyond the horizon": Collection of conference materials*. 2023;13–17. (In Russ). EDN: ZHARYR
7. Panov S, Nikolov A, Panova S. Review of standards and systems for predictive maintenance. *Science, Engineering and Education*. 2021;6(1):65–73. (In Russ). doi: 10.59957/see.v6.i1.2020.1 EDN: QSDQWQ

8. GOST R 56136-2014. Life cycle management of military products. Terms and definitions. Available from: <http://gost.gtsever.ru/Data/587/58768.pdf/> Accessed: Apr 20, 2025. (In Russ).
9. CALS Continuous Acquisition and Lifecycle Support. Available from: <https://www.tadviser.ru/a/53201/> Accessed: Apr 20, 2025. (In Russ).
10. ISO 55000:2014 Asset management – Overview, principles and terminology. [Internet]. Available from: <http://gost.gtsever.ru/Data/588/58869.pdf> / Accessed: Apr 20, 2025. (In Russ).
11. GOST 31539-2012 Life cycle of railway rolling stock. Terms and definitions. Available from: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=181157/> Accessed: Apr 20, 2025. (In Russ.)
12. Zamyshlyayev AM, Shubinskiy IB, Bublikova MA. URRAN – a system for managing technical assets in railway transport. *Proceedings of JSC NIIAS: Collection of articles*. 2021;1(11):67-82. (In Russ.) EDN: NPFUUE
13. The strategy of digital transformation of Russian Railways until 2025 (CDT-2025). Accessed: Apr 20, 2025. (In Russ.) Available from: <https://www.tadviser.ru/a/307861/>
14. Platform of linear infrastructure operators. [Internet]. Accessed: 2025 April 20. (In Russ.) Available from: <https://rzdigital.ru/platforms/platforma-operatorov-lineynoy-infrastruktury/>
15. Sapetov MV. Wagon complex: current issues, prospects for the future. *Eurasia News*. 2022; XII. (In Russ). Accessed: Apr 20, 2025. Available from: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2022-12a07/>

Сведения об авторе:

Федоров Александр Евгеньевич, аспирант ПГУПС,
руководитель департамента ООО «ОЦРВ»;
ORCID: 0009-0004-6319-5172;
E-mail: alexfedor@yandex.ru

Information about the author:

Alexander E. Fedorov, postgraduate student, head of department “OCRV”;
ORCID: 0009-0004-6319-5172;
E-mail: alexfedor@yandex.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst689784>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© Л.М. Чеченова, С.С. Звонарев

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТОИМОСТИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В КОНТЕЙНЕРАХ

Цель. Выбор оптимального решения перевозки грузов в контейнерах в зависимости от результатов сравнительной оценки стоимости отправки контейнеров на импорт\экспорт арендованным судном на условиях тайм-чартера или через стороннюю организацию.

Материалы и методы. Особенности регулирования транспортно-экспедиторской деятельности с учетом национальных и международных норм права путем анализа и выборки данных; методические подходы к оценке стоимости перевозки груза в контейнерах; методы сравнительной оценки экономических эффектов по схеме «затраты-выгода».

Результаты. Установлены затраты времени по ключевым маршрутам контейнерных перевозок морским транспортом в международном сообщении; определена стоимость международной перевозки груза силами сторонней организации с использованием собственных и привлеченных контейнеров с учетом сроков доставки; обосновано решение по осуществлению международных контейнерных перевозок арендованным судном на условиях тайм-чартера; определен экономический эффект от перевозки груза в контейнере арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с отправкой через стороннюю организацию.

Заключение. Предложенное решение позволит оценить стоимость международной перевозки груза в контейнерах с целью выбора наиболее оптимального варианта, что окажет прямое воздействие на структуру тарифа на перевозку и обеспечит рост доходной составляющей компании-экспедитора.

Ключевые слова: оценка стоимости; международная перевозка; контейнерные грузы; экономический эффект.

Как цитировать:

Чеченова Л.М., Звонарев С.С. Сравнительная оценка стоимости международных перевозок грузов в контейнерах // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 522–532. doi: 10.17816/transsyst689784

Rubric 3. TRANSPORT ECONOMICS

© L.M. Chechenova, S.S. Zvonarev

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)**COMPARATIVE COST ESTIMATE OF INTERNATIONAL
CONTAINERIZED CARGO SHIPPING**

AIM: The work aimed to select the best containerized cargo shipping option based on a comparative import/export cost estimate for the shipping by a time-chartered vessel or through a third-party company.

METHODS: Differences of national and international regulation of freight forwarding by data analysis and sampling; methods used to assess the cost of containerized cargo shipping, and comparative cost/benefit analysis of economic effects.

RESULTS: The study determined the time of international delivery by key container shipping sea lanes and the cost of international shipping by a third-party company using its own and hired containers based on the delivery time; verified the option of the international container shipping by a time-chartered vessel, and determined the economic effect of a containerized cargo shipping by a time-chartered vessel compared with the shipment through a third-party company.

CONCLUSION: The proposed solution will allow to estimate the cost of international containerized cargo shipping to select the best option, directly affecting the shipping rate structure and ensuring the revenue growth of the forwarding company.

Keywords: cost estimate; international shipping; containerized cargo; economic effect.

To cite this article:

Chechenova LM, Zvonarev SS. Comparative cost estimate of international containerized cargo shipping. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):522–532. doi: 10.17816/transsyst689784

ВВЕДЕНИЕ

Международные контейнерные перевозки морским транспортом, играют ключевую роль в глобальной логистике. Эффективное управление данными перевозками обеспечивает устойчивость бизнеса и способствует укреплению экономической составляющей организации. В меняющихся условиях международной торговли, морские перевозки остаются из самых востребованных и экономически выгодных способов транспортировки грузов. Организация морских перевозок предполагает решение определенных вопросов сталкивается с рядом сложностей, связанных с высокой капиталоемкостью, зависимостью от конъюнктуры рынка и учетом множества внешних факторов,

таких как экономические санкции, политическая ситуация и международное законодательство.

Актуальность темы обусловлена тем, что в современных условиях транспортные компании ставят своей целью оптимизацию затрат наряду с повышением эффективности оказываемых услуг. Компетентное формирование стоимости морских перевозок позволяет не только минимизировать издержки, но и предлагать клиентам конкурентоспособные условия, что в конечном итоге способствует устойчивому развитию бизнеса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на анализе и систематизации нормативно-правовой базы, регулирующей оказание транспортно-экспедиторских услуг, исходя из общих принципов управления сегментом морских перевозок [1–5], порядка оказания транспортно-экспедиционных услуг [6–10] с установлением положительных и отрицательных характеристик для заказчика и экспедитора в контексте основных положений договора транспортной экспедиции (Табл. 1).

Таблица 1. Характеристики договора транспортной экспедиции

Table 1. Detailed description of the forwarding contract

Стороны договора	Положительный функционал	Отрицательный функционал
Заказчик	- определенность условий и защиты интересов; - гибкость действий по дополнительным услугам: таможня, страхование; - возможность судебной защиты.	- риск финансовых перегрузок (налоги, сборы); - конфликт интересов в результате неоднозначной трактовки условий договора.
Экспедитор	- гарантия оплаты и компенсации расходов; - право на страхование рисков; - свобода выбора транспортного средства/маршрута в интересах клиента.	- прямая ответственность за нарушение условий договора; - необходимость оперативного согласования с клиентом изменений условий договора.

Методической основой исследования является порядок установления стоимости морских перевозок грузов в контейнерах в международном сообщении с возможностью определения затрат времени по ключевым маршрутам и структуры стоимости перевозки.

Объект исследования – ООО «Модуль» – транспортно-экспедиторская компания, которая предоставляет полный комплекс услуг по перевозке грузов на межконтинентальном уровне [11]. Следует отметить, что организация располагает парком контейнеров общей численностью более 7000 ед., владеет более 4,5 тыс. фитинговых платформ, арендует на долгосрочной основе

12 судов-контейнеровозов, эксплуатирует современный автопарк из 160 тягачей, управляет контейнерными терминалами в Санкт-Петербурге (модули «Южный» и «Пулково»), Сыктывкаре, Екатеринбурге и Архангельске с общей пропускной способностью свыше 320 тысяч TEU в год.

ООО «Модуль» демонстрирует стабильный рост объемов перевозок. Так, по операционным данным за последние три года, компания увеличила объем перевозимых контейнеров морским транспортом с 172 тыс. TEU в 2022 г. до 206 тыс. TEU в 2023 г., 267 тыс. TEU в 2024 г. Такой рост особенно значителен на фоне изменения структуры грузопотоков после 2022 г., когда произошла существенная переориентация маршрутов с европейских на азиатские направления.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Установлены затраты времени по ключевым маршрутам контейнерных перевозок морским транспортом в международном сообщении

Морские контейнерные перевозки являются основным направлением деятельности ООО «Модуль», на которые приходится порядка 55% общего объема. Наиболее значимые направления – страны Азиатско-Тихоокеанского региона, доля которых в общем объеме перевозок увеличилась до 55% по итогам 2024 г.

Анализ календаря морских перевозок компании за период с 2022 по 2024 гг. позволил определить затраты времени на международные морские перевозки. В табл. 2 представлен фрагмент календаря следования судов по маршруту «Индия–Россия» (апрель–май 2025 г.).

Затраты времени на международные морские перевозки по ключевым направлениям определены с учетом количества портов, в которые заходит судно (Табл. 3).

Ключевыми направлениями перевозок являются маршруты Индия (Мундра, Нава-Шева) — Россия (СПб) и Китай (Шанхай) — Россия (СПб), где

Таблица 2. Фрагмент календаря следования судов

Table 2. Fragment of the vessel movement schedule

Тип судна	Порт	Нава Шева, Индия			Мундра, Индия		
	Компания	BMCT			ADANI		
	Терминал	время прибытия судна в порт	время швартовки судна в порту	время отплытия судна из порта	время прибытия судна в порт	время швартовки судна в порту	время отплытия судна из порта
XIN LONG YUN 66	40INDSTP // CTSP	22 апр.	22 апр.	23 апр.	25 апр.	25 апр.	26 апр.
XIN LONG YUN 86	41INDSTP // PLP/ULCT	25 апр.	25 апр.	26 апр.	27 апр.	03 май.	04 май.
HNSIN	42INDSTP // PLP/ULCT	15 май.	15 май.	16 май.	17 май.	19 май.	18 май.

Источник: [11]

Таблица 3. Затраты времени на международные морские перевозки**Table 3.** Time required for the international shipping by sea

Сообщение перевозок	Страна вывоза	Страна ввоза	Количество портов	Затраты времени, дни
Экспорт	Россия, СПб	КНР	4	46
Импорт	КНР	Россия, СПб	4	42
Экспорт	Россия, СПб	Индия	4	37
Импорт	Индия	Россия, СПб	6	47

Источник: [11]

среднее время перемещения судов составляет от 37 до 47 дней в зависимости от направления. Разница во времени объясняется количеством портов захода и логистическими особенностями маршрутов. Например, импортные перевозки из Индии занимают больше времени из-за большего числа остановок, в то время как экспортные рейсы в ОАЭ и Китай реализуются на порядок оперативнее ввиду оптимизации маршрута.

2. Определена стоимость международной перевозки груза силами сторонней организации с использованием собственных и привлеченных контейнеров с учетом сроков доставки

Настоящее исследование представляет интерес для компаний-экспедиторов, которые осуществляют перевозку грузов как собственными силами, так и с привлечением арендованных судов ввиду большого количества транспортных заявок и невозможности их обработки собственными мощностями, а также наличием низкого\нерегулярного спроса на отдельные маршруты.

Учитывая нарастающие объемы перевозок и ограниченные возможности по наличию собственных судов, ООО «Модуль» в период активного роста арендует суда. Процентное соотношение перевозок, арендованных судами и перевозок с привлечением сторонних компаний составляет 76/24%. Исследована стоимость перевозок грузов через сторонние транспортные компании [12, 13] с учетом собственных и привлеченных контейнеров, фрагментарно в Табл. 4 представлены результаты на примере привлечения судов ГК «Fesco».

При условии «Импорт\экспорт + собственный контейнер» перевозка 40-фут. контейнера на 30–40% дороже, чем 20-фут. Это объясняется тем, что 40-фут. контейнер занимает больше места на судне, что не всегда обеспечено пропорциональным увеличением полезного объема перевозимого груза. Кроме того, разница в стоимости не всегда линейна, поскольку судоходные компании учитывают не только габариты, но и загрузку судна, спрос на конкретные маршруты и прочие дополнительные факторы.

При условии «Импорт\экспорт + привлеченный контейнер» стоимость перевозки, как правило, выше, что связано с дополнительными расходами на логистику партнёров, наценкой и возможными комиссиями. Однако, в отдельных случаях разница в стоимости перевозки минимальна\дешевле, что объясняется наличием:

Таблица 4. *Стоимость перевозок грузов через сторонние транспортные компании***Table 4.** *Cost of shipping through third-party carriers*

Откуда	Куда	Тип контейнера, фут.	Фрахт, руб.	Срок доставки, дни
Импорт + собственный контейнер				
Шанхай	СПБ	40	385535	39
Мундра	СПБ	40	427035	24
Шанхай	СПБ	20	269750	39
Мундра	СПБ	20	323285	24
Импорт + привлеченный контейнер				
Шанхай	СПБ	40	510035	39
Мундра	СПБ	40	427035	24
Шанхай	СПБ	20	368935	39
Мундра	СПБ	20	323285	24
Экспорт + собственный контейнер				
СПБ	Шанхай	40	207500	46
СПБ	Мундра	40	307100	30
СПБ	Шанхай	20	166000	46
СПБ	Мундра	20	265600	30
Экспорт + привлеченный контейнер				
СПБ	Шанхай	40	207500	46
СПБ	Мундра	40	307100	30
СПБ	Шанхай	20	166000	46
СПБ	Мундра	20	265600	30

Источник: [11]

- скидок по тарифам на перевозку: если партнёрская компания имеет долгосрочные контракты с судоходными линиями, она имеет возможность получить более выгодные тарифы и распределить часть экономии заказчику;
- обратных рейсов на некоторых направлениях (чаще экспортных) в случае, если суда возвращаются полупустыми, перевозчики снижают цены, чтобы заполнить свободные места;
- специальных условий: со стороны партнеров допускается использование фиксированных тарифов на определённые маршруты при наличии избыточного количества контейнеров или свободных мощностей.

3. Обосновано решение по осуществлению международных контейнерных перевозок арендованным судном на условиях тайм-чартера

Использование привлеченных судов сторонних компаний, хотя и является вынужденной мерой, существенно сокращает потенциальную выручку компаний экспедиторов. По статистике, при пользовании услугами сторонних компаний, порядка 25% дохода «уходят» партнерам, что при больших объемах перевозок

приводит к значительным финансовым потерям. Для минимизации этих потерь рекомендуется поэтапно наращивать долю собственных или арендованных судов. Аренда судна на условиях тайм-чартера может стать оптимальным решением, поскольку в отличие от спот-чартера, где ставки зависят от конъюнктуры рынка, тайм-чартер обеспечивает стабильность объема затрат и позволяет планировать логистику в длительном периоде. Кроме того, появляется возможность полного контроля над логистикой, что является значимым фактором ввиду того, что снижается зависимость от внешних поставщиков и обеспечивается гибкость в управлении заявками.

Тайм-чартер является сложным, комплексным договором, включающим в себя элементы аренды судна как транспортного средства и услуги экипажа, которые оказываются на основе договора, согласно которому судовладелец предоставляет судно фрахтователю на определённый срок (от нескольких месяцев до нескольких лет) для эксплуатации и его следует рассматривать как комплексный договор аренды судна и подряда экипажа, осуществляемых в целях торгового мореплавания. Именно цель мореплавания выделяет тайм-чартер из обычных договоров имущественной аренды или оказания услуг.

Преимуществом аренды на условиях тайм-чартера является детализация характеристик судна с возможностью внесения в тайм-чартер дополнительных пунктов, от чего зависит производительность и, следовательно, потенциальные доходы фрахтователя, а также возложенные на фрахтователя расходы, связанные с коммерческой эксплуатацией судна. Характеристики предоставляются судовладельцем в качестве гарантии договора. В случае несоответствия характеристик действительно существующим, фрахтователь вправе требовать снижения арендной платы или возмещения убытков. К примеру, редуцированные значения по дедвейту, грузовместимости или скорости могут быть основанием для снижения арендной ставки; больший регистровый тоннаж, премиальный сорт топлива, неспособность судовой силовой установки обеспечить одновременную работу всех кранов и лебедок и освещение фронта работ, меньшая грузоподъемность судовых грузовых средств являются основанием к требованию о возмещении убытков.

Все вышесказанное дает основание утверждать, что аренда судна на условиях тайм-чартера является одним из оптимальных решений для компании-экспедитора, осуществляющей международные контейнерные перевозки.

4. Определен экономический эффект от перевозки груза в контейнере арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с отправкой через стороннюю организацию

Экономический эффект выражен в абсолютной разнице стоимости отправки контейнеров арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с отправкой через стороннюю организацию. При расчете стоимости перевозки груза в контейнерах за основу приняты данные, предоставленные ООО «Модуль»:

- характеристики судна: тип – контейнеровоз, год постройки – 2001, грузовместимость – 2720 TEU, дедвейт – 32 000 тонны, длина\ширина\осадка – 210\31\10, скорость – 16-18 узлов (экономичный);

- стоимость ежедневной аренды судна данной категории – 3 320 тыс. руб. в сутки;
- время следования тайм-чартерных судов: Индия – 42 дня (импорт\экспорт), КНР – 44 дня (импорт\экспорт);
- объемы потребления топлива исходя из расчета в тонна/сутки и деления на стадии полного хода и простоя судна (полный ход – 55 т./сут., стоимость топлива – 58 100 руб./т. в ценах 2024 г., простой судна – 10 т./сут., стоимость использования иного вида топлива – 66 400 руб./т. в ценах 2024 г.);
- расходы на содержание экипажа данной категории судна – 23 чел. (оплата труда, страхование [14], питание, непредвиденные расходы);
- портовые сборы: лоцманский, маячный, навигационный сборы, а также сборы за пользование причалом, буксировку и швартовку;
- тариф за проход через Суэцкий канал (зависит от веса, высоты груза на палубе, осадки судна и пр. факторов).

Результаты расчета экономического эффекта на примере перевозки груза в контейнере (1 ед.) по маршруту «Россия, СПб – Индия, Мундра» представлены в Табл. 5.

Аренда судна на условиях тайм-чартера для перевозки контейнеров из Китая и Индии в Россию (СПб) экономически целесообразнее, чем пользование услугами сторонних компаний. В частности, для 40-футовых контейнеров на маршруте «Шанхай–СПб» обеспечена экономия в размере 118 750 руб./контейнер; для 20-футовых контейнеров – 136 360 руб./ контейнер в ценах 2025 г. По маршруту «Мундра–СПб» аренда судна обеспечивает экономию в 176 250 тыс. руб./ контейнер. На экспортных направлениях ситуация менее

Таблица 5. Результаты расчета экономического эффекта

Table 5. Economic effect calculation

Тип собственного контейнера (с/к)	Стоимость перевозки, руб.	Экономический эффект, руб.
Отправка контейнера на импорт арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с отправкой через стороннюю организацию		
40 футовый с/к, стороннее судно	427 035	+176 247,18
40 футовый с/к, арендованное судно	250 787,82	
20 футовый с/к, стороннее судно	323 285	+197 891,09
20 футовый с/к, арендованное судно	125 393,91	
Отправка контейнера на экспорт арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с отправкой через стороннюю организацию		
40 футовый с/к, стороннее судно	307 100	+56 312,18
40 футовый с/к, арендованное судно	250 787,82	
20 футовый с/к, стороннее судно	265 600	+140 206,09
20 футовый с/к, арендованное судно	125 393,91	

стабильна в особенности для перевозок в направлении КНР, ввиду волатильности ставок фрахта на экспорт [15]. Однако, на маршруте «СПБ-Мундра» разница менее критична ввиду ставок фрахта, превышающих себестоимость аренды, но и здесь возможно понижение размера ставок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенное решение перевозки груза в контейнере арендованным судном на условиях тайм-чартера в сравнении с перевозкой сторонней организацией является оптимальным для компаний-экспедиторов, ограниченных в мощностях, но при этом имеющих потенциал развития с учетом текущих рыночных тенденций и изменения маршрутов перевозок. Полученные результаты имеют практическую ценность, поскольку предлагают порядок сравнительной оценки стоимости перевозки, обеспечивающей рост доходной составляющей компании-экспедитора.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации. Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/
2. Конвенция ООН по морскому праву. Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121270/
3. Международная конвенция о коносаментах (Гаагские правила, 1924; Гаагско-Висбийские правила, 1968; Гамбургские правила, 1978). Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133601/9a0b982e2b2ee6b30a273fe421f52501d7751338/
4. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL, 1973/78). Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/2540818/>
5. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS, 1974). Дата обращения: 18.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/71353064/>
6. Федеральный закон от 30 июня 2003 г. N 87-ФЗ «О транспортно-экспедиционной деятельности». Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43006/
7. Приказ Минтранса РФ от 11 февраля 2008 г. N 23 «Об утверждении Порядка оформления и форм экспедиторских документов». Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/12159320/>

8. ГК РФ, Глава 41 «Транспортная Экспедиция». Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027/dfe46eb17d8b852987049332ca429b48b665b8a9/
9. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52298-2004 «Услуги транспортно-экспедиторские. Общие требования» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2004 г. N 148-ст). Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: https://rosogosts.ru/file/gost/03/080/gost_r_52298-2004.pdf
10. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52297-2004 «Услуги транспортно-экспедиторские. Термины и определения» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2004 г. N 147-ст). Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/5922563/>
11. Официальный сайт компании ООО «Модуль». Дата обращения: 28.06.2025. Режим доступа: <https://modul.global/services/>
12. Гулый И.М. Перспективы развития перевозок грузов по маршрутам мультимодального международного транспортного коридора «СЕВЕР – ЮГ» // Экономика Центральной Азии. 2022. Т. 6, № 4. С. 341–354.
13. Гулый И.М. Экономические последствия цифровизации железнодорожных контейнерных перевозок // Экономические науки. 2021. № 200. С. 57–61.
14. Волкова Е.В., Стримовская А.В. Влияние логистических затрат на финансовые показатели работы компании // Логистика и управление цепями поставок. 2018. № 5 (88). С. 53–61.
15. Журавлева Н.А. Трансформационное лидерство и устойчивое развитие российских транспортных систем // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 92–111.

REFERENCES

1. The Code of Merchant Shipping of the Russian Federation. Accessed: 28.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22916/ (In Russ.)
2. The UN Convention on the Law of the Sea. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121270/ (In Russ.)
3. International Convention on Bills of Lading (Hague Rules, 1924; Hague-Visby Rules, 1968; Hamburg Rules, 1978). Accessed: 28.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133601/9a0b982e2b2ee6b30a273fe421f52501d7751338/ (In Russ.)
4. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL, 1973/78). Available from: <https://base.garant.ru/2540818/> (In Russ.)
5. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS, 1974). Accessed: 28.06.2025. Available from: <https://base.garant.ru/71353064/> (In Russ.)
6. Federal Law No. 87-FZ of June 30, 2003 "On Freight Forwarding Activities". Accessed: 28.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43006/ (In Russ.)

7. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 23 dated February 11, 2008 "On approval of the Procedure for registration and forms of forwarding documents". Accessed: 28.06.2025. Available from: <https://base.garant.ru/12159320/> (In Russ.)
8. Civil Code of the Russian Federation, Chapter 41 "Transport Expedition". Accessed: 28.06.2025. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027/dfe46eb17d8b852987049332ca429b48b665b8a9/ (In Russ.)
9. National standard of the Russian Federation GOST R 52298-2004 "Freight forwarding services. General requirements" (approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 30, 2004 No. 148-st). Accessed: 28.06.2025. Available from: https://rosogosts.ru/file/gost/03/080/gost_r_52298-2004.pdf (In Russ.)
10. National standard of the Russian Federation GOST R 52297-2004 "Freight forwarding services. Terms and definitions" (approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 30, 2004 No. 147-st). Accessed: 28.06.2025. Available from: <https://base.garant.ru/5922563/> (In Russ.)
11. Official website of the Modul LLC company. Accessed: 28.06.2025. Available from: <https://modul.global/services/> (In Russ.)
12. Gulyi IM. Prospects for the development of cargo transportation along the routes of the «NORTH–SOUTH multimodal international transport corridor. *Economics of Central Asia*. 2022; 6(4):341–354. (In Russ.)
13. Gulyi IM. Economic consequences of digitalization of railway container transportation. *Economics*. 2021;200:57–61. (In Russ.)
14. Volkova EV., Strimovskaya AV. The impact of logistics costs on the financial performance of the company. *Logistics and supply chain management*. 2018; 5(88):53–61. (In Russ.)
15. Zhuravleva NA. Transformational leadership and sustainable development of Russian transport systems. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2022;8(2):92–111. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Чеченова Лиана Мухамедовна, д-р экон. наук, доцент;

eLibrary SPIN: 7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454; Scopus ID: 57553177000;

E-mail: liana1981-149@mail.ru

Звонарев Степан Сергеевич, экономист;

E-mail: zvonarev1998@mail.ru

Information about the authors:

Liana M. Chechenova, Dr. Sci. (Economics), Associate Professor;

eLibrary SPIN: 7593-2214; ORCID: 0000-0002-2641-9454; Scopus ID: 57553177000;

E-mail: liana1981-149@mail.ru

Stepan S. Zvonarev, Economist;

E-mail: zvonarev1998@mail.ru

Рубрика 3. ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

<https://doi.org/10.17816/transsyst690065>

Труды I Международной научно-практической конференции
«Экономика высоких скоростей: технологии будущего»

© В.М. Шавшуков, А.А. Костылев

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
(Санкт-Петербург, Россия)

ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Обоснование. В условиях новой геоэкономики, когда изменились объемы и номенклатура перевозок, инновационные процессы и технологии становятся важнейшими элементами обеспечения экономической безопасности деятельности российских железных дорог. Уровень инновационного развития компании отражается на пороговых значениях экономической безопасности, расчет которых становится чрезвычайно актуальным.

Цель. Разработка показателей пороговых значений инновационного развития для ОАО «РЖД» в контексте экономической безопасности железнодорожных перевозок.

Материалы и методы. Исследованы результаты и проекты инновационного развития Холдинга «РЖД». Использован метод мониторинга и рейтингования (шкала оценки зрелости) показателей, определяющих уровень инновационного развития компании.

Результаты. Разработана система пороговых значений экономической безопасности деятельности компании железнодорожного транспорта на базе развития ее инновационных процессов.

Заключение. Инновационные процессы и технологии как объекты экономической безопасности являются существенным элементом экономического суверенитета страны.

Ключевые слова: инновации; пороговые значения; экономическая безопасность; железнодорожный транспорт.

Как цитировать:

Шавшуков В.М., Костылев А.А. Пороговые значения экономической безопасности инновационного развития железнодорожного транспорта // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 533–543. doi: 10.17816/transsyst690065

Section 3. TRANSPORT ECONOMICS

© V.M. Shavshukov, A.A. Kostylev

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University
(St. Petersburg, Russia)

ECONOMIC SECURITY THRESHOLDS OF INNOVATION-DRIVEN DEVELOPMENT OF RAILWAY TRANSPORT

BACKGROUND: In the context of the new geoeconomics, when the load and range of transportation have changed, innovative processes and technologies are becoming the most important elements of the economic security of Russian railways. The level of innovation-driven development of a company affects the economic security thresholds, making their calculation highly relevant.

AIM: To determine thresholds of innovation-driven development for Russian Railways JSC in the context of economic security of railway transportation.

METHODS: The authors analyzed the innovation-driven development performance and projects of the Russian Railways Holding by monitoring and rating (maturity assessment scale) the indicators determining the level of innovation-driven development of the company.

RESULTS: A system of economic security thresholds of a railway transportation company's activities has been developed based on the development of its innovative processes.

CONCLUSION: Innovative processes and technologies as economic security objects are an essential element of the national economic sovereignty.

Keywords: innovation; thresholds; economic security; railway transport.

To cite this article:

Shavshukov VM, Kostylev AA. Economic security thresholds of innovation-driven development of railway transport. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(3):533–543. doi: 10.17816/transsyst690065

ВВЕДЕНИЕ

Российские железные дороги имеют особое стратегическое значение для страны, внося значительный вклад в обеспечение ее территориальной целостности и единства экономического пространства, влияют на достижение экономической безопасности и реализации принципов разделения труда. Железнодорожный транспорт является материальной основой обеспечения внешнеэкономических связей Российской Федерации и ее интеграции в глобальную экономическую систему.

Экономическая безопасность железнодорожного транспорта напрямую связана с его конкурентоспособностью на рынке грузовых и пассажирских перевозок. Именно конкурентоспособность становится преимуществом, обеспеченным ростом скорости и своевременности перевозки, ритмичностью функционирования магистрального железнодорожного транспорта.

Важнейшим показателем экономической безопасности национальной экономики становится величина стоимости перевозки или транспортной составляющей в цене товара. Уровень развития и доступности пассажирского транспорта способствует росту социальной активности населения и положительно влияет на доходы домашних хозяйств. Удешевление и одновременное ускорение железнодорожных перевозок позволяет снизить риски неравномерности пространственного развития Российской Федерации по уровню и темпам социально-экономической и деловой активности, качеству жизни населения.

В последнее время возрастает роль транспорта в обеспечении обороноспособности и национальной безопасности России, что обусловлено требованиями к повышенной мобильности Вооруженных Сил Российской Федерации. Качество транспортной системы определяет степень эффективности работы аварийно-спасательных служб, подразделений гражданской обороны и специальных служб и, следовательно, условия общенациональной безопасности и вероятности террористических рисков.

Таким образом, состояние и потенциал роста производственной, социальной и рыночной транспортной инфраструктуры, прежде всего, железнодорожного транспорта формирует фундамент общей безопасности государства. Инновационный, высоко технологичный железнодорожный транспорт, конкурирующий на национальном и международных рынках перевозок, способен создать необходимый уровень безопасности. Транспортной стратегией Российской Федерации определена важнейшая задача обеспечения суверенитета – рост объемов грузоперевозок более чем в 1,5 раза исключительно на основе современных отечественных технологий [2].

Объектом данного исследования является ОАО «Российские железные дороги» (далее ОАО «РЖД») – владелец железнодорожной инфраструктуры и тягового подвижного состава, основной грузовой и пассажирский перевозчик.

Целью данного исследования является разработка показателей пороговых значений инновационного развития ОАО «РЖД» в контексте экономической безопасности железнодорожных перевозок.

В данном исследовании авторами рассмотрены технологические инновации на железнодорожном транспорте, выполнен анализ сущностных процессов их внедрения и масштабирования, сделана оценка их влияния на пороговые значения экономической безопасности.

Именно технологические инновации определяют качественные изменения не только техники и технологии, но и всего процесса перевозки. В определении пороговых значений экономической безопасности железнодорожных перевозок мы исследуем внедрение транспортных услуг с новыми свойствами, с которыми потребитель еще не знаком, либо нового уровня качества услуг по перевозке грузов и пассажиров, апеллируя к классическому пониманию инноваций [1].

Зона рисков показателей экономической безопасности ОАО «РЖД» зависит, в том числе, от монопольной позиции компании как владельца железнодорожной инфраструктуры и тяги, а также как участника перевозок открытого, конкурентного рынка транспортных услуг. Поэтому совершенствование инновационного развития в различных направлениях – необходимый аспект деятельности.

ДАННЫЕ

На основе отчетных данных, базовых документов и предметных исследований, формирующих инновационный профиль ОАО «РЖД», сформирована аналитическая база:

- уточненных параметров инновационного развития Холдинга «РЖД» по состоянию на 2024 г. и приоритетным направлениям; новых технологий и продуктов, планируемых к производству российскими организациями; возможностей доступа к «открытым инновациям» [3].
- долгосрочных трендов инноваций на железнодорожном транспорте с учетом трансформации транспортного рынка и подрывных технологий, способных повысить экономическую безопасность российской экономики [4].
- инновационных изменений в международных железнодорожных компаниях [5].
- системы показателей инновационной стратегии развития ОАО «РЖД», идентифицируемых как пороговые значения экономической безопасности [6].

МЕТОДЫ

Экономическая безопасность деятельности российских железных дорог не ограничена пространством территории Российской Федерации, а является опорной сетью ее международных товарных связей. С целью определения соответствия уровня инновационного развития российских железных дорог железным дорогам международных транспортных коридоров (или дорог стран примыкания) авторы опирались на анализ международных стандартов. В частности, использовано Руководство Осло – «Руководство по сбору, представлению и использованию данных об инновациях» в версии от 2018 г., [7]. Указанное руководство содержит структурированные показатели, характеризующие инновационный профиль компаний, основная часть которых используется

в оценке динамических рядов за период более 10 лет, а также описывает метод оценки расходов на инновации, разделяя их на два типа: транспортная услуга и бизнес-процесс ее производства. Несмотря на то, что, в среднем, от начала разработки инновации на железнодорожном транспорте до ее тиражирования проходит около пяти лет, мы учитываем ее способность к масштабируемости, что позволяет интерпретировать полученное пороговое значение по одному бизнес-процессу на весь процесс оказания транспортной услуги компанией [1].

На основе применяемой в ОАО «РЖД» системы мониторинга основных эксплуатационных и качественных показателей эффективности деятельности по реализации стратегии научно-технологического развития Холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. авторами дополнен и сформирован перечень пороговых значений экономической безопасности деятельности компании по основным бизнес-процессам [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработана логико-структурная схема формирования пороговых значений экономической безопасности железнодорожной компании на основе показателей оценки инновационности ее бизнес-процессов (Рис. 1).

Как следует из представленной схемы, пороговое значение экономической безопасности рассчитывается применительно к каждому бизнес-процессу компании, находящемуся под влиянием процессов инновационного развития (обновления) [9].

В Табл. 1 приведен фрагмент расчета интегрального показателя экономической безопасности бизнес-процесса «грузовые перевозки» с учетом соответствия его фактических инновационных параметров, заданным в стратегии научно-технологического развития Холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. («Белая книга») [6].

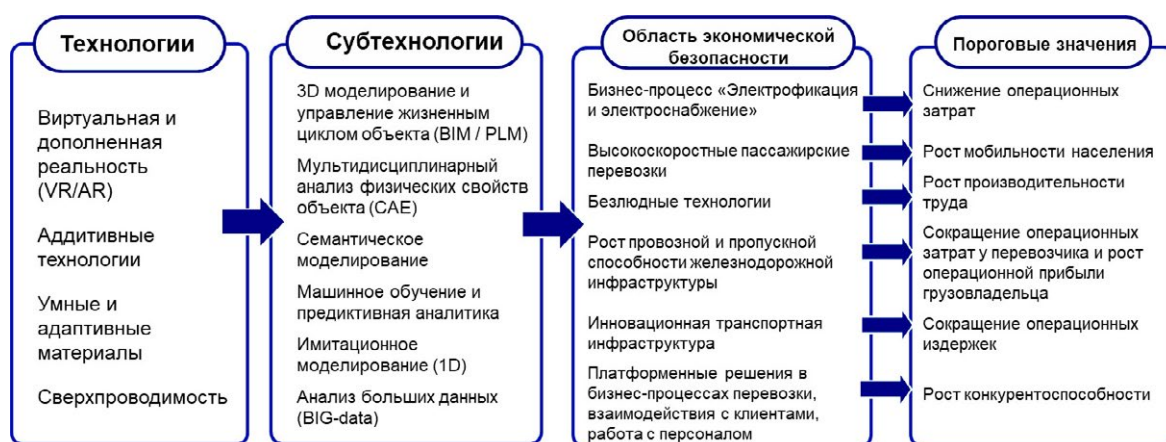


Рис. 1. Логика исследования пороговых значений инновационных изменений в бизнес-процессах железнодорожной компании

Fig. 1. Logic of the study of innovation thresholds in business processes of a railway company

Таблица 1. Фрагмент расчета интегрального показателя экономической безопасности бизнес-процесса «грузовые перевозки» с учетом соответствия его фактических инновационных параметров

Table 1. An example of the calculation of the integral economic security of the freight transportation business process based on the compliance of its actual innovation parameters

Изменение показателя, в % к нормативному	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Удельные нормы расхода ТЭР на тягу поездов	100,7	100,3	99,8	100,8	99,4	100,3	100,4
Средняя участковая скорость грузового поезда	100	99,8	100,2	101	95,9	100,2	98,2
Средняя масса грузового поезда	100,6	101,1	100,7	99,9	98,5	100,1	100,5
Скорость доставки грузовой отправки в груженных вагонах	101,7	101,3	101,1	109,9	110	100,4	100,1
Доля грузовых отправок груженных вагонов с соблюдением установленного срока доставки	100,4	100,7	101,9	102,6	101	95,5	98,6
Уровень безопасности движения	110	123,4	112,2	115,6	103,4	103,4	101,1
Рост производительности труда работников ОАО «РЖД» занятых на перевозках	104,2	101,8	98,3	100,8	102,9	101	100,3
Интегральный ключевой показатель эффективности инновационной деятельности грузовых перевозок ¹	-	-	126	143	114,7	130	128

Источник: составлено авторами с учетом исследований [6, 10].

Ввиду того, что большинство проведенных ранее исследований рассматривает влияние инноваций на экономические показатели деятельности железных дорог [11], на комплексное развитие регионов и отраслей промышленности [12, 13], раскрывает проблемы цифровой трансформации железнодорожного транспорта [14] и зависимости экономической безопасности от информационной [15], то в данном исследовании присутствует оригинальность. Пороговые значения экономической безопасности ОАО «РЖД» авторами взаимосвязаны с уровнем инновационной активности его бизнес-процессов, обусловленной влиянием новых технологий.

Разработана шкала оценки зрелости инновационных продуктов (технологий), влияющих на уровень экономической безопасности компании, в отношении которых Холдинг «РЖД» является разработчиком или участвует в разработке. Данная шкала дополняет действующую в ОАО «РЖД» Методику оценки зрелости инновационного продукта/технологии к внедрению в ОАО «РЖД» и рисков не достижения уровня готовности инновационных проектов в ОАО «РЖД»

¹ Рассчитан по шкале оценки зрелости инновационных технологий (оценка уровня технологической готовности бизнес-процессов к инновациям) [10].

с их применением через соответствующие уровни готовности [10], а также учитывает комментарии к ней [16]. В Табл. 2 приведены уровни готовности технологии (УГТ).

Таблица 2. *Описание уровней готовности технологии*

Table 2. *Description of technology readiness levels*

Уровень готовности технологии (УГТ)	Описание
Бизнес-процесс, определяющий уровень эффективности деятельности компании	Классификатор инноваций, меняющих данный бизнес-процесс
УГТ1	Исследование базовых концептов с позиций их влияния на пороговое значение экономической безопасности (в т.ч. с учетом эффекта масштаба)
УГТ8	Оценка прямых, косвенных и внешних эффектов от инновации
УГТ9	Уровень влияния бизнес-процесса на экономические показатели деятельности компании.
УГТ9.1	Имитация модели инновационных изменений и оценка их результатов
УГТ9.2	Интеллектуальное моделирование (нейросетевое моделирование) зависимости порогового значения экономической безопасности от бизнес-процесса, обеспечивающего процесс железнодорожной перевозки от уровня его инновационного обновления
УГТ9.3	Внедрение/Масштабное внедрение (тиражирование)/эксплуатация инновационных решений

Источник: составлено авторами с учетом исследований [10, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пороговые значения экономической безопасности деятельности ОАО «РЖД», формируемые инновационными техникой, технологиями, процессами, по своей сути являются предельными величинами. Их не введение снижает конкурентоспособность деятельности российских железных дорог, препятствует стабильному и устойчивому развитию целостности российской транспортной системы, ведет к росту стоимости перевозок. Приведенные уровни готовности инновационных технологий по всем срезам процессов железнодорожной перевозки требуют оценки и постоянного мониторинга, что должно привести к определенной коррекции стратегических инновационных решений в комплексе железных дорог Российской Федерации.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириченко И.В., Кравцов А.А., Мамедьяров З.А., и др. Мониторинг состояния мировой экосистемы инноваций за 2020–2021 гг. Анализ и прогноз // Журнал ИМЭМО РАН. 2022. № 1. С. 78–99. doi: 10.20542/afij-2022-1-78-99 EDN: SBIPST
2. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf>
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 19.08.2024 N2009/р «Об утверждении паспорта Комплексной программы инновационного развития Холдинга «РЖД» на период до 2025 г.». Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа <https://clck.ru/3NGsH9>
4. РЖД 2050: взгляд за горизонт / Под ред. В.В. Сараева. М.: Иннопрактика, 2021. Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/2312493?action=download>
5. Инновации в железнодорожных компаниях мира: перспективы технологического развития / под ред. И.П. Васильева. М.: Центр инновационного развития – филиалом ОАО «РЖД» и МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023.
6. Распоряжение от 17 апреля 2018 г. N 769/р «Об утверждении стратегии научно-технологического развития Холдинга «РЖД» на период до 2025 г. и на перспективу до 2030 г. (Белая книга)». Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа: <https://clck.ru/3NGufW>
7. OECD/Eurostat (2018), Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Ed., The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. Luxembourg: OECD Publishing, Paris/Eurostat, 2018. doi: 10.1787/9789264304604-en
8. Порядок мониторинга и управления изменениями проектов Национальной технологической инициативы. Дата обращения 02.09.2025. Режим доступа: https://nti2035.ru/documents/docs/Procedure_monitoring_NTI_projects_29112019.pdf
9. Распоряжение от 9 января 2020 г. N 4/р «О внесении изменений в распоряжение ОАО «РЖД» от 28 декабря 2012 г. N 2786р «О едином сетевом технологическом процессе железнодорожных грузовых перевозок». Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа: <https://base.garant.ru/73666194/>
10. Распоряжение ОАО «РЖД» от 1 сентября 2021 г. N 1899/р «Методика оценки зрелости инновационного продукта/технологии к внедрению в ОАО «РЖД»

- и рисков недостижения уровня готовности инновационных проектов в ОАО «РЖД» с их применением через соответствующие уровни готовности. Дата обращения: 23.07.2025. Режим доступа: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=SVB014&n=44831&dst=100019>
11. Лунина Т.А., Пахомова Д.А. Экономическое значение инновационных технологий железнодорожных станций // *European Journal of Natural History*. 2023. № 2. С. 63–66. EDN: TFYGRZ
 12. Шматко А.Д., Хильченко П.А. Инновации на железнодорожном транспорте в России и их влияние на экономическое развитие регионов // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2024. № 3(51). doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-3 EDN: COASYA
 13. Багаряков А.В., Никулина Н.Л., Быстрой Г.П., Печеркина М.С. Инновации в контексте экономической безопасности региона // *Управленец*. 2014. № 6(52). С. 54–59. EDN: TFDNTP
 14. Бердышева Ю.А., Жаркова Е.А. Инструменты реализации цифровой трансформации железнодорожного транспорта // *Вестник СГУПС: гуманитарные исследования*. 2022. №1 (12). С. 5–8. doi: 10.52170/2618-7949_2022_12_5 EDN: WTORCJ
 15. Мезина Н.А., Лунев В.С. Концептуальные и стратегические направления повышения экономической безопасности, как фактор устойчивого развития предприятий // *Научные труды вольного экономического общества России*. 2024. Т. 248, № 4. С. 507–517. doi: 10.38197/2072-2060-2024-248-4-507-517 EDN: YYZHDE
 16. Тулупов А.В., Васильев И.П., Ионов Д.А., и др. Использование метрик уровней готовности при оценке зрелости продукта или технологии к применению в ОАО «РЖД» // *Экономика науки*. 2022. № 1. С. 31–45. doi: 10.22394/2410-132X-2022-8-1-31-45 EDN: CDTWOP

REFERENCES

1. Kirichenko IV, Kravtsov AA, Mamedyarov ZA, et al. Monitoring the state of the global ecosystem of innovations for 2020-2021. Analysis and forecast. *MEMO RAS Journal*. 2022;1:78–99. doi: 10.20542/afij-2022-1-78-99 EDN: SBIPTS
2. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035 approved by the order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 No. 3363-r. Accessed: 23.07.2025. Available from: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (In Russ.)
3. Order of JSC Russian Railways dated 19.08.2024 N2009/r «On Approval of the Passport of the Comprehensive Innovative Development Program of the Russian Railways Holding for the Period up to 2025». Accessed: 23.07.2025. Available from: <https://clck.ru/3NGsH9> (In Russ.)
4. Saraev VV. (ed.) *RZD 2050: A Look Beyond the Horizon*. Moscow: Innopraktika; 2021. Accessed: 23.07.2025. Available from: <https://company.rzd.ru/api/media/resources/2312493?action=download> (In Russ.)

5. Vasiliev IP. (ed.) *Innovations in the World's Railway Companies: Prospects for Technological Development*. Moscow: Center for Innovative Development – a branch of JSC Russian Railways and the Lomonosov Moscow State University; 2023. (In Russ.)
6. Order of April 17, 2018 No. 769/r «On approval of the strategy for scientific and technological development of the Russian Railways holding company for the period up to 2025 and for the future up to 2030 (White Paper) ». Accessed: 23.07.2025. Available from: <https://clck.ru/3NGufW> (In Russ.)
7. OECD/Eurostat (2018), Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. Luxembourg: OECD Publishing, Paris/Eurostat; 2018. doi: 10.1787/9789264304604-en
8. Procedure for monitoring and managing changes to National Technology Initiative projects. Accessed: 23.07.2025. Available from: https://nti2035.ru/documents/docs/Procedure_monitoring_NTI_projects_29112019.pdf (In Russ.)
9. Order of January 9, 2020 No. 4/r «On Amendments to the Order of JSC Russian Railways» of 28 December 2012. No. 2786r «On the Unified Network Technological Process of Rail Freight Transportation». Accessed: 23.07.2025. Available from: <https://base.garant.ru/73666194/> (In Russ.)
10. Order of JSC Russian Railways dated 1 September 2021 N 1899/r «Methodology for assessing the maturity of an innovative product/technology for implementation at JSC Russian Railways and the risks of not achieving the level of readiness of innovative projects at JSC Russian Railways with their application through the corresponding levels of readiness». Accessed: 23.07.2025. Available from: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=SVB014&n=44831&dst=100019> (In Russ.)
11. Lunina TA, Pakhomova DA. Economic significance of innovative technologies of railway stations. *European Journal of Natural History*. 2023;(2):63–66. (In Russ.)
12. Shmatko AD, Khilchenko PA. Innovations in railway transport in Russia and their impact on the economic development of regions. Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. 2024;51(3):30–41. doi: 10.21685/2227-8486-2024-3-3
13. Bagaryakov AV, Nikulina NL, Bystrai GP, Pecherkina MS. Innovations in the context of regional economic security. *Manager*. 2014;52(6):54–59.
14. Berdysheva YA, Zharkova EA. Tools for Digital Transformation of Railway Transport. *Bulletin of SUSPS: humanitarian research*. 2022;12(1):5–8. (In Russ.) doi: 10.52170/2618-7949_2022_12_5
15. Mezina NA, Lunev VS. Conceptual and strategic directions for improving economic security as a factor in sustainable development of enterprises. *Nauchnye trudy volnogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*. 2024;248(4):507–517. (In Russ.) doi: 10.38197/2072-2060-2024-248-4-507-517 EDN: YYZHDE
16. Tulupov AV, Vasiliev IP, Ionov DA, et al. Using metrics of readiness levels in maturity assessment of a product or technology for application in JSCO RZD. *Economics of Science*. 2022;(1):31–45. doi: 10.22394/2410-132X-2022-8-1-31-45

Сведения об авторах:**Шавшуков Вячеслав Михайлович**, д-р экон. наук, профессор;

eLibrary SPIN: 6148-3969; ORCID: 0000-0002-3218-0718; Scopus ID: 56584500900;

E-mail: shavshukov@rambler.ru

Костылев Антон Алексеевич, аспирант;

eLibrary SPIN: 9033-5683; ORCID: 0009-0006-9821-1026;

E-mail: dolichagi@yandex.ru

Information about the authors:**Shavshukov Vyacheslav Mikhailovich**, Dr. Sci. (Economics), Professor;

eLibrary SPIN: 6148-3969; ORCID: 0000-0002-3218-0718; Scopus ID: 56584500900;

E-mail: shavshukov@rambler.ru

Kostylev Anton Alekseevich, graduate student;

eLibrary SPIN: 9033-5683; ORCID: 0009-0006-9821-1026;

E-mail: dolichagi@yandex.ru