



МосТрансПроект

Научный журнал

МОСКОВСКИЙ ТРАНСПОРТ

Наука
и проектирование

№ 1
2025

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
«МОСТРАНСПРОЕКТ»

ISSN: 3034-5162

SCIENTIFIC JOURNAL

OF THE RESEARCH
INSTITUTE
«MOSTRANSPROJECT»

ISSN: 3034-5162

2025 № 1 (1)

Научный журнал

Учредитель

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «МОСТРАНСПРОЕКТ»**

Основан в 2025 г.

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Московский транспорт. Наука и проектирование» обязательна. Рукописи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Мнение редакции и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций.

© ГБУ «МосТрансПроект», 2025

Scientific Journal

Founder:

**RESEARCH INSTITUTE
«MOSTRANSPROJECT»**

Founded in 2025

When reprinting materials, a reference to the journal «Moscow Transport. Science and Design» is required. Manuscripts which were not accepted for publication will not be returned. The opinion of the editorial board and its members may not coincide with the viewpoint of the authors of publications.

© SBI «MosTransProject», 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Гришин Виктор Иванович – доктор экономических наук, профессор, председатель экспертного совета по науке при Департаменте транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Москвы, научный руководитель ГБУ «МосТрансПроект»

Ответственный секретарь

Косарева Елена Александровна – кандидат экономических наук, главный научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»

Члены редакционной коллегии

Абдурахманов Каландар Ходжаевич – академик Академии наук Республики Узбекистан, профессор, доктор экономических наук

Асаул Николай Анатольевич – доктор экономических наук, профессор, директор ГУП «Мосгортранс», заведующий кафедрой «Автомобильные перевозки» ФГБОУ ВО МАДИ

Гришина Ольга Алексеевна – доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»

Дементьев Виктор Евгеньевич – член-корреспондент Российской академии наук, доктор экономических наук, профессор, руководитель научного направления «Макроэкономика и институциональная теория» ФГБУН ЦЭМИ РАН

Жанказиев Султан Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы» ФГБОУ ВО МАДИ

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, ректор Донбасской национальной академии строительства и архитектуры ФГБОУ ВО ДонНАСА, ДНР

Кудрявцев Сергей Анатольевич – член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный строитель Российской Федерации, заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения» ФГБОУ ВО ДВГУПС

Купчикова Наталья Викторовна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»

Нгуен Чонг Там – заведующий кафедрой «Железнодорожный путь и метрополитен», кандидат технических наук, профессор Хошиминского университета транспорта, г. Хошимин (Вьетнам)

Розенберг Игорь Наумович – член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, научный руководитель, заведующий кафедрой «Геодезия, геоинформатика и навигация» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

Сахненко Маргарита Александровна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Водные пути, порты и портовое оборудование» Академии водного транспорта ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

Федоров Виктор Сергеевич – академик Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения» ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
«МОСТРАНСПРОЕКТ»
№ 1 (1) 2025

Ответственный секретарь:

Е. А. Косарева

Выпускающий редактор:

В. В. Кузнецов

Редактор: Г. А. Лакеева

Переводчик: Е. С. Романова

Верстка: А. В. Таскаева

Оформление обложки:

Ю. Р. Смотровая

Адрес редакции:

101000, г. Москва,

Потаповский пер., д. 3, стр. 1

Тел.: +7 (495) 419-04-86 (доб. 443, 262)

e-mail: nicenter@mtp.mos.ru

Подписано в печать 23.03.2025

Формат 60 x 84 / 8

Печ. л. 5,94.

Усл. печ. л. 12.

Тираж 100 экз.

Заказ № 1

Отпечатано в ГБУ

«МосТрансПроект»

Содержание

Транспортные системы

А. Р. Хайретдинова, И. И. Касаткин, А. Ф. Колбасов, Модель развития зарядной инфраструктуры города Москвы..... 14

С. В. Жанказиев, М. В. Гаврилюк, А. М. Меркович, Анализ подходов к формированию безопасной и комфортной среды для движения велосипедов и средств индивидуальной мобильности..... 23

Строительство

В. С. Федоров, Д. Р. Асмаловский, Экспериментальная оценка огнестойкости сжатых элементов из легкого высокопрочного бетона для зданий и сооружений транспортного комплекса..... 33

Н. В. Купчикова, Численное моделирование насыпей транспортных сооружений с учетом слабого подстилающего слоя..... 43

Компьютерные науки и информатика

А. В. Белов, Проблемы и перспективы применения технологий искусственного интеллекта в транспортном проектировании 55

В. И. Гришин, Э. Э. Джафаров, Искусственный интеллект в экспертизе результатов НИР 66

Экономика

В. П. Титов, С. Р. Шибаетов, Вопросы инновационного развития транспортного комплекса Москвы..... 78

К. Х. Абдурахманов, Экономическая эффективность внедрения экологичного транспорта в Узбекистане 89

Е. А. Шитов, В. Гайдаржи, Разработка и апробация индекса инновационного развития транспортных комплексов субъектов Российской Федерации..... 95

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

Grishin Viktor Ivanovich – Doctor of Economics, Professor, Chairman of the Expert Council on Science at the Department of Transport and Development of Road and Transport Infrastructure of Moscow, Scientific Director of the SBI «MosTransProject»

Executive Secretary

Kosareva Elena Alexandrovna – Candidate of Economic Sciences, Chief Researcher at SBI «MosTransProject»

Members of the Editorial Board

Abdurakhmanov Kalandar Khodzhaevich – Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Professor, Doctor of Economic Sciences

Asaul Nikolay Anatolyevich – Doctor of Economic Sciences, Professor, Director of State Unitary Enterprise «Mosgortrans» (Moscow City Transport), Head of the Department of «Automobile Transportation» at Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow Automobile and Road Construction State Technical University» (MADI)

Grishina Olga Alekseevna – Doctor of Economic Sciences, Professor, Chief Researcher at SBI «MosTransProject»

Dementiev Viktor Evgenievich – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Scientific Direction «Macroeconomics and Institutional Theory», Federal State Budgetary Institution of Science «Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences» (CEMI RAS)

Zaichenko Nikolai Mikhailovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of the Donbass National Academy of Construction and Architecture, Federal State Budgetary Institution of Higher Education DonNASA, Donetsk People's Republic

Zhankaziev Sultan Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Traffic Organization and Safety, Intelligent Transport Systems» at Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Kudryavtsev Sergey Anatolyevich – Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Builder of the Russian Federation, Head of the Department «Bridges, Tunnels and Underground Structures» at the Far Eastern University of Railway Transport

Kupchikova Natalia Viktorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at SBI «MosTransProject»

Nguyen Trong Tam – Head of the Department «Railway Track and Metro», Candidate of Technical Sciences, Professor at Ho Chi Minh City University of Transport, Ho Chi Minh City (Vietnam)

Rosenberg Igor Naumovich – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientific Director and Head of the Department of «Geodesy, Geoinformatics and Navigation» at the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (Moscow Institute of Transport Engineers)

Sakhnenko Margarita Aleksandrovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Waterways, Ports and Port Equipment» at the Academy of Water Transport of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (Moscow Institute of Transport Engineers)

Fedorov Viktor Sergeevich – Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Building Structures, Buildings and Facilities» at the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT MIIT)

SCIENTIFIC JOURNAL
OF THE RESEARCH
INSTITUTE
«MOSTRANSPROJECT»
No. 1 (1) 2025

Executive Secretary: E. A. Kosareva
Managing editor: V. V. Kuznetsov
Editor: G. A. Lakeeva
Translator: E. S. Romanova
Layout: A. V. Taskaeva
Cover Design: Y. R. Smotrova

Editorial office address:

101000, Moscow, Potapovsky Lane, 3,
Building 1
Tel.: +7 (495) 419-04-86 (ext. 443, 262)
E-mail: nicenter@mtp.mos.ru
Signed for printing on March 23, 2025
Format 60 x 84/8
Printed sheets: 5.94
Conventional printed sheets: 12
Print run: 100 copies
Order No. 1

Printed at SBI «MosTransProject»

Content

Transport Systems

A. R. Khayretdinova, I. I. Kasatkin, A. F. Kolbasov,
Development Model for the Charging Infrastructure
in the City of Moscow..... 14

S. V. Zhankaziev, M. V. Gavrilyuk, A. M. Merkovich,
Analysis of Approaches to Creating a Safe
and Comfortable Environment for Bicycle
and Personal Mobility Device Movement..... 23

Construction

V. S. Fedorov, D. R. Asmalovsky, Experimental Assessment of the Fire
Resistance of Compressed Elements Made of Lightweight
High-Strength Concrete for Buildings and Structures
of a Transport Complex..... 33

N. V. Kupchikova, Numerical Modeling of Embankments of Transport
Structures Taking Into Account the Weak Underlying Layer..... 43

Computer Sciences and Informatics

A. V. Belov, Problems and Prospects of Artificial Intelligence Technologies
Application in Transportation Engineering and Design 55

V. I. Grishin, E. E. Dzhafarov, Artificial Intelligence in the Evaluation
of Research and Development Results 66

Economics

V. P. Titov, S. R. Shibaev, Issues of Innovative Development of Moscow's
Transport Complex..... 78

K. Kh. Abdurakhmanov, Economic Efficiency of Implementing
Eco-Friendly Transport in Uzbekistan..... 89

E. A. Shitov, G. V. Gaidarzhi, Development and Testing of the Innovation
Development Index for Transport Complexes of the Russian Federation
Subjects 95

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами первый номер журнала «Московский транспорт. Наука и проектирование», издателем которого является наше подведомственное учреждение — Научно-исследовательский и проектный институт городского транспорта города Москвы «МосТрансПроект».

Московский транспортный комплекс динамично развивается в последнее десятилетие. По многим показателям транспортная система Москвы является лучшей в мире. В рекордно короткие сроки нам удалось реализовать такие уникальные и масштабные проекты мирового

уровня, как Московское центральное кольцо, московские центральные диаметры и Большая кольцевая линия. С 2011 года число станций рельсового транспорта в столице выросло более чем вдвое — до 430. Москва сегодня — лидер в Европе по количеству электробусов, число которых превышает 1500. Запущены первые в мире круглогодичные регулярные речные маршруты электротранспорта. За последние 10–12 лет транспорт стал более эффективным, комфортным, быстрым. При этом приоритетом была и остается безопасность дорожного движения — по сравнению с 2010 годом ДТП в Москве стало на 31% меньше.

Очевидно, что эти достижения были бы невозможны без серьезного научного сопровождения. За последние 10 лет было проведено большое количество НИР. Только за 2018–2024 годы выполнено 138 НИР. И в текущем году мы продолжаем научные исследования по актуальным для московского транспорта темам. Ведь мы стремимся не только сохранить достигнутый высочайший уровень, но и стать еще лучше для жителей Москвы.

В журнале «Московский транспорт. Наука и проектирование» будут отражены основные результаты научных исследований, выполненных в транспортном комплексе Москвы. Надеюсь, что идеи, найденные проектные решения, подходы к «расшивке» транспортных проблем будут полезны для наших коллег из других российских регионов, при этом коллеги из регионов поделятся своими лучшими практиками. Уверен, что журнал станет площадкой для открытой дискуссии и будет способствовать объединению усилий практиков и ученых в сфере транспорта и дорожно-транспортной инфраструктуры для того, чтобы сделать российский транспорт одним из лучших в мире.



*Заместитель Мэра Москвы
в Правительстве Москвы
по вопросам транспорта и промышленности
М. Ликутов*

DEAR READERS!

We are pleased to present to you the first issue of the journal «Moscow Transport. Science and Design.» published by our subordinate institution – the Research and Design Institute of Urban Transport of the City of Moscow «MosTransProject.»

Moscow's transport complex has been developing dynamically over the past decade. By many indicators, Moscow's transport system is considered the best in the world. In record time, we have managed to implement unique and large-scale world-class projects such as the Moscow Central Circle (MCC), the Moscow Central Diameters (MCD), and the Big Circle Line (BCL). Since 2011, the number of rail transport stations in the capital has more than doubled - to 430. Today, Moscow is the leader in Europe in the number of electric buses, the number of which exceeds 1,500. The world's first year-round regular river routes using electric transport have been launched. Over the past 10-12 years, transport has become more efficient, comfortable and fast. At the same time, the number one priority was and remains road safety – compared to 2010, the number of road accidents in Moscow has decreased by 31%.

It is obvious that these achievements would not have been possible without serious scientific support. Over the past 10 years, a large number of R&D projects have been conducted. In 2018-2024 alone, 138 R&D projects were completed. And this year we continue scientific research on topics relevant to Moscow transport. After all, we strive not only to maintain the highest level we have achieved, but also to become even better for the residents of Moscow.

The journal «Moscow Transport. Science and Design» will reflect the main results of scientific research carried out in the Moscow transport complex. I hope that the ideas, design solutions and approaches to «resolving» transport problems will be useful for our colleagues from other Russian regions, while colleagues from the regions will share their best practices with us. I am confident that the journal will become a platform for open discussion and will help unite the efforts of practitioners and scientists in the field of transport and road transport infrastructure in order to make Russian transport one of the best in the world.

*Deputy Mayor of Moscow
in the Moscow Government
for Transportation and Industry
M. Liksutov*

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ, АВТОРЫ И РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «МОСКОВСКИЙ ТРАНСПОРТ. НАУКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ»!

Создание в Московском научно-исследовательском и проектном институте городского транспорта «МосТрансПроект» научного журнала является важным событием в жизни института.

НИИ «МосТрансПроект» — ведущий интеллектуальный центр транспортного планирования в стране. За свою 75-летнюю историю «МосТрансПроект» принял участие во многих транспортных проектах. Сегодня в институте работают около 600 сотрудников — инженеров, проектировщиков, ученых, архитекторов, урбанистов и аналитиков.



Наши высококвалифицированные специалисты выполняют научные исследования, а Научный центр института организует и координирует всю научную деятельность Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы, в том числе проводит экспертизу всех отчетов о НИР, выполненных в Департаменте.

На базе проведенных научных исследований наша команда разрабатывает проекты по улучшению организации дорожного движения в Москве и за ее пределами, создает концепции благоустройства территорий, анализирует пассажиропотоки для совершенствования работы городского транспорта, занимается транспортным планированием, повышая транспортную доступность городских объектов.

Команда наших разработчиков создает современные городские сервисы, например сервис по оценке транспортной доступности жилых комплексов «Узнай про ЖК». Также мы разрабатываем собственный беспилотный автомобиль и тестируем его в условиях городской среды.

Специальный проектный офис анализирует передовой мировой опыт развития транспортной инфраструктуры и выносит научно обоснованные предложения по усовершенствованию движения, дизайна и функционала поездов метро.

Мы спроектировали 100% трамвайной сети Москвы, а также выполняем проекты по капитальному ремонту трамвайных путей и контактной сети трамвая.

Мы посчитали, что будет правильным представлять на постоянной основе широкой академической общественности и практикам — транспортникам и урбанистам — результаты реализованных нами проектов и выполненных в интересах Департамента транспорта исследований. Очень надеемся, что на страницах журнала будут отражаться не только наши достижения, но что наш журнал привлечет внимание всех, кто заинтересован в развитии транспортной отрасли страны, ведет исследования и реализует проекты в сфере транспорта и дорожно-транспортной инфраструктуры. Нам бы хотелось, чтобы журнал стал экспертной трибуной федерального уровня для обсуждения направлений развития отрасли.

*Директор
ГБУ «МосТрансПроект»
В. Титов*

**DEAR READERS, AUTHORS AND EDITORIAL BOARD OF THE
SCIENTIFIC JOURNAL «MOSCOW TRANSPORT. SCIENCE AND DESIGN»!**

The creation of a scientific journal at the Moscow Research and Design Institute of Urban Transport «MosTransProject» is an important event in the life of the Institute.

Today, the «MosTransProject» Research Institute is the country's leading intellectual center for transport planning. Throughout its 75-year history, MosTransProject has participated in numerous transport projects. Currently, the Institute employs approximately 600 staff members—engineers, designers, scientists, architects, urban planners and analysts.

Our highly qualified specialists conduct scientific research, while the Institute's Scientific Center organizes and coordinates all scientific activities of Moscow's Department of Transport and Road Transport Infrastructure Development, including reviewing all research reports produced within the Department.

Based on our scientific research, our team develops projects to improve traffic management in Moscow and beyond, creates concepts for territory improvement, analyzes passenger flows to enhance urban transport operations and engages in transport planning to increase the accessibility of urban facilities.

Our development team creates modern urban services, such as the «Learn About Your Housing Complex» service for evaluating transport accessibility of residential complexes. We are also developing our own autonomous vehicle and testing it in urban environments.

A specialized project office analyzes leading global experience in transport infrastructure development and presents scientifically grounded proposals for improving the movement, design, and functionality of metro trains.

We designed 100% of Moscow's tram network and also implement projects for capital repairs of tram tracks and tram contact networks.

We have determined that it would be appropriate to regularly present the results of our implemented projects and research conducted in the interests of the Department of Transport to the broader academic community and practitioners—transportation specialists and urban planners. We sincerely hope that the journal's pages will reflect not only our achievements, but that our journal will attract the attention of all those interested in the development of the country's transportation industry, those conducting research and implementing projects in the field of transport and road infrastructure. We would like the journal to become a federal-level expert platform for discussing industry development directions.

*Director
of the State Budgetary Institution
«MosTransProject»
V. Titov*

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ И ЧИТАТЕЛИ ЖУРНАЛА!

Перед вами первый номер научно-аналитического журнала «Московский транспорт. Наука и проектирование». Учредитель издания ГБУ «МосТрансПроект» — ведущая в стране научная и проектная организация в области транспорта и транспортной инфраструктуры. Институт в Департаменте транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы является координатором и организатором научных работ, которых только за последнее время проведено более 130. ГБУ «МосТрансПроект» раз-



рабатывает организационно-методические документы по проведению и внедрению в практику результатов научных исследований. По показателям внедрения инноваций московский транспорт является первым в стране и одним из ведущих в мире. Этими богатыми эмпирическими и научными заделами считаем необходимым делиться как внутри страны, так и за рубежом. В регионах страны и других странах спрос на транспортные инновации растет, и институт готов представлять свои наработки заинтересованным пользователям.

С целью более активного распространения сведений о наших научных и практических результатах и родилась идея издания журнала. Наши коммуникации с ведущими вузами и НИИ в части проведения и внедрения результатов НИР позволяют надеяться, что авторами статей и рецензентами будут выдающиеся ученые и практики. Мы предполагаем также, что наши зарубежные и региональные коллеги через публикации в журнале будут делиться с нами своими достижениями. Нами сформированы коллективы редакционной коллегии и редакции. В их составе известные российские и зарубежные ученые из Белоруссии, Узбекистана, Вьетнама, которые также будут нашими авторами. Опираясь на опыт членов редакционной коллегии и будущих авторов публикаций, надеюсь на то, что журнал будет востребованным и станет площадкой для открытой дискуссии исследователей в области транспорта и транспортной инфраструктуры.

Мы работаем над созданием электронной версии журнала. В будущем надеемся войти в список рецензируемых журналов ВАК, а также в мировые наукометрические системы.

Доступ ко всем номерам будет свободным и бесплатным.

Прошу принять мое уважение, признательность и благодарность авторам, редакторам, читателям нашего журнала.

*Доктор экономических наук,
профессор,
главный редактор
В. Гришин*

DEAR AUTHORS AND READERS OF THE JOURNAL!

We present to you the first issue of the scientific and analytical journal «Moscow Transport. Science and Design.» The founder of this publication is SBI «MosTransProject» - the country's leading scientific and design organization in the field of transport and transport infrastructure. The Institute in the Department of Transport and Road Transport Infrastructure Development of Moscow serves as the coordinator and organizer of scientific work with more than 130 studies conducted in recent times alone. SBI «MosTransProject» develops organizational and methodological documents for conducting research and implementing its results in practice. In terms of innovation implementation, Moscow's transport system ranks first in the country and among the world leaders. We consider it necessary to share this rich empirical and scientific foundation both within the country and abroad. The demand for transport innovations is growing in the regions of the country and other nations, and the institute is ready to present its developments to interested users.

The idea of publishing this journal was born with the aim of more actively disseminating information about our scientific and practical results. Our communications with leading universities and research institutes regarding the conduct and implementation of research results give us reason to hope that outstanding scientists and practitioners will become authors of articles and reviewers. We also expect that our foreign and regional colleagues will share their achievements with us through publications in the journal. We have formed teams for the Editorial Board and the Editorial Office. They include renowned Russian and foreign scientists from Belarus, Uzbekistan and Vietnam, who will also be among our authors. Relying on the experience of the Editorial Board members and future publication authors, I hope that the journal will be in demand and will become a platform for open discussion among researchers in the field of transport and transport infrastructure.

We are working on creating an electronic version of the journal. In the future, we hope to be included in the list of peer-reviewed journals approved by the Higher Attestation Commission (VAK), as well as in global scientometric systems. Access to all issues will be free of charge. Please accept my respect, appreciation, and gratitude to the authors, editors and readers of our journal.

*Doctor of Economic Sciences,
Professor,
Editor-in-Chief
V. Grishin*

МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА МОСКВЫ

А. Р. Хайретдинова

И. И. Касаткин

А. Ф. Колбасов

ГУП «Московский метрополитен»

Аннотация. В статье анализируется текущее состояние и тенденции развития зарядной инфраструктуры для электромобилей. Объектом исследования является потребность в зарядной инфраструктуре в Москве, выраженная в количестве электростанций (ЭС) и зональном распределении установленных мощностей. Разработана прогнозная модель потребности в зарядной инфраструктуре в Москве в период с 2025 по 2035 год. Сформированная модель позволяет прогнозировать общее требуемое количество и распределение в районах города быстрых и медленных ЭС. Суммарное требуемое количество ЭС в Москве достигнет 55 900 единиц к 2035 году, согласно базовому сценарию прогноза, преобладающим типом ЭС будут медленные. Модель представляет собой значимый инструмент для стратегического планирования и развития инфраструктуры для электромобилей. Полученные прогнозные данные способствуют планированию в долгосрочной перспективе потребности в электрической мощности в районах Москвы.

Ключевые слова: электромобили, электростанция, зарядная инфраструктура, прогнозная модель.

DEVELOPMENT MODEL FOR THE CHARGING INFRASTRUCTURE IN THE CITY OF MOSCOW

A. R. Khayretdinova

I. I. Kasatkin

A. F. Kolbasov

State Unitary Enterprise «Moscow Metro»

Abstract. The article analyzes the current state and development trends of charging infrastructure for electric vehicles. The object of study is the need for charging infrastructure in Moscow, expressed in the number of electric charging stations (ECS) and the zonal distribution of installed capacities. A forecast model of the charging infrastructure requirements in Moscow for the period from 2025 to 2035 has been developed. The formulated model enables forecasting of the total required number and distribution of fast and slow ECS across city districts. The total required number of ECS in Moscow will reach 55,900 units by 2035 according to the baseline forecast scenario, with slow ECS being the predominant type. The model represents a significant tool for strategic planning and development of infrastructure for electric vehicles. The obtained forecast data contribute to long-term planning of electrical capacity requirements in Moscow districts.

Keywords: electric vehicles, electric charging station, charging infrastructure, forecast model.

Введение

Для развития рынка электромобилей критически важной составляющей является развитие зарядной инфраструктуры. При этом характер данной зависимости не имеет однозначно определенной закономерности и является актуальным предметом изучения для исследовательских коллективов в странах, где развивается использование электромобилей [1–3].

Целью исследования является формирование инструмента для расчета прогнозируемой потребности в электроразрядных станциях (ЭЗС) в Москве в период с 2025 по 2035 год для повышения качества планирования внедрения новых ЭЗС в различных районах в соответствии с растущей потребностью.

Ключевыми задачами в рамках исследования являются:

- определение оптимального количества быстрых и медленных ЭЗС;
- создание инструмента для прогнозирования потребности в ЭЗС в Москве в период с 2025 по 2035 год.

Разработка модели для оценки потребности

Метод

Для расчета прогнозируемой потребности в ЭЗС в Москве была сформирована прогнозная модель. Она относится к классу аналитических моделей и обеспечивает расчет количества ЭЗС и их распределение по районам в Москве с учетом потребностей потенциальных пользователей и их поведения.

Исходными данными прогнозной модели являются:

- прогноз продаж электромобилей в Москве (рассмотрены негативный, базовый и позитивный сценарии) [13–16];
- парк автомобилей в Москве в период 2015–2024 годов;
- текущее состояние зарядной инфраструктуры в мегаполисах мира;
- результаты маркетингового исследования: привлекательность электромобилей и потребность в быстрых и медленных ЭЗС для различных типов пользования (личный, такси, каршеринг);
- данные о продолжительности стоянок легковых автомобилей по районам Москвы, наличия в районах кольцевых магистралей (МКАД, ТТК, Садовое кольцо) и интенсивности транспортных потоков на них.

Общая логика модели сводится к следующим этапам:

- ввод и интерпретация исходных данных;
- расчет количества быстрых и медленных ЭЗС

в зарядной инфраструктуре для электромобилей в Москве основана на использовании аналитического подхода. Данный подход обусловлен необходимостью оперативного получения количественных оценок для быстрого реагирования на меняющиеся условия и ограниченным доступом к полным и актуальным данным, что усложняет применение более сложных имитационных моделей [4–8]. Аналитическая модель позволяет оперативно оценить будущие потребности в зарядной инфраструктуре с использованием упрощенных предположений, опираясь на текущие и прогнозируемые данные о парке электромобилей.

В процессе исследования был проведен анализ международного опыта использования электромобилей, включая стратегии развития инфраструктуры в крупных зарубежных мегаполисах [9–12]. Опыт зарубежных исследований показывает, что в существующих условиях развития рынка электромобилей аналитические и имитационные модели способны давать схожие результаты при условии корректного подбора факторов и параметров.

в Москве в соответствии с классификацией на основании деления по сценариям развития рынка и пользователям электромобилями;

- расчет параметров районов и магистралей (в зависимости от продолжительности стоянок автомобилей и интенсивности транспортных потоков на магистралях) в Москве и распределение в соответствии с ними рассчитанных значений ЭЗС;

- структуризация и дальнейшее отображение результатов расчетов в виде агрегирующих таблиц и карты распределения ЭЗС в Москве.

Для определения общего количества требуемых ЭЗС рассчитываются две группы показателей:

1) количественное распределение парка электромобилей по типам пользования (личный, такси, каршеринг). Каждый тип пользования обладает своими особенностями в части предпочтений в эксплуатации электромобиля (привлекательности электромобилей) и предпочтений в отношении быстрой и медленной зарядки (потребности в быстрых и медленных ЭЗС);

2) соотношение количества электромобилей на одну ЭЗС (ЭМ/ЭЗС). Данная группа отражает удельную емкость зарядной инфраструктуры (сколько электромобилей обслуживает быстрая/медленная зарядка в пересчете на одну ЭЗС) в зависимости от типа пользования.

Таким образом, количественная оценка потребности в ЭЗС производится отдельно для быстрых и медленных ЭЗС и основывается на сопоставлении прогнозируемого парка электромобилей и соотношений ЭМ/ЭЗС.

Для определения потребности в ЭЗС с учетом различных типов зарядки (медленная/быстрая) проводится сравнительный анализ Москвы с 13 городами мира, которые демонстрируют передовой опыт в области развития электротран-

спорта и зарядной инфраструктуры. Сравнение осуществляется по двум ключевым блокам, охватывающим различные аспекты городской среды и уровни внедрения электромобилей. Среди них — климат, плотность населения, рельеф, уровень внедрения электромобилей, стоимость ЭЗС и др.

На рис. 1 отображены значения количества медленных и быстрых ЭЗС на 1000 электромобилей в мегаполисах мира.



Рис. 1. Текущее состояние зарядной инфраструктуры в мегаполисах мира

Для достижения оптимального результата используются данные официальных источников и отраслевых отчетов [17, 18]. Данные агрегируются в сравнительной таблице и используются для оценки параметров городов по 10-балльной шкале, где 1 — минимальное соответствие Москве по определенному показателю, а 10 — максимальное.

По результатам анализа, оптимальное количество ЭЗС на 1000 электромобилей в Москве составило 16,7 для быстрых ЭЗС (выходная мощность от 50 до 150 кВт включительно) и 97,1 — для медленных ЭЗС (выходная мощность до 50 кВт).

Для понимания потребностей и предпочтений пользователей электромобилями в рамках работы анализируются результаты маркетинговых исследований, охватывающие рассматриваемые типы пользования (личный, такси и каршеринг). Основным методом сбора данных являются глубинные интервью, позволяющие получить детальную информацию о восприятии и отношении к электромобилям и зарядной инфраструктуре у физических лиц (тип пользования — личный) и представителей

организаций в сфере услуг такси и каршеринга. Для формирования оценки пользовательского поведения изучаются ответы респондентов на вопросы, касающиеся их опыта использования или потенциального внедрения электромобиля, включая факторы, влияющие на выбор самого электромобиля, для замены автомобиля с ДВС, типа зарядки, ожидаемую частоту использования ЭЗС, предпочтения в отношении расположения и функциональности зарядных станций. Для обеспечения возможности количественного анализа и интеграции полученных данных в модель оценки пользовательского поведения ответы респондентов преобразуются исследователями в численные значения показателей по 10-балльной шкале, где 1 — соответствует минимальному позитивному эффекту от использования технологии по определенному показателю, а 10 — максимальному.

В зависимости от пользовательских потребностей оптимальное соотношение количества ЭЗС к электромобилям корректируется для различных типов пользования (личный, такси, каршеринг) (рис. 2).

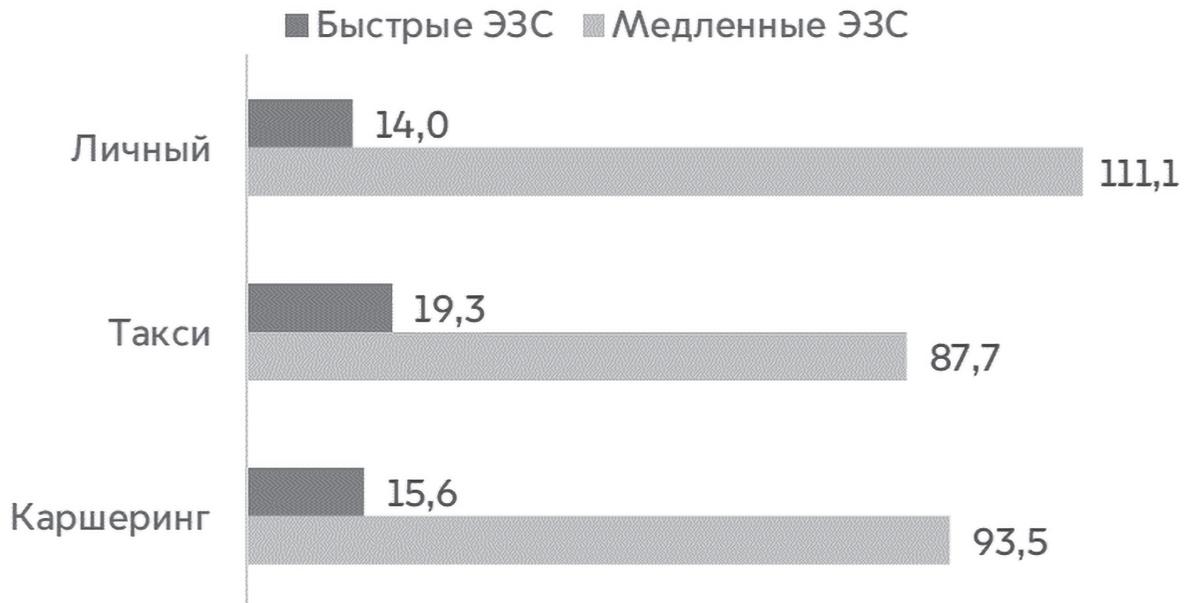


Рис. 2. Расчетное оптимальное количество ЭЗС на 1000 автомобилей в Москве

Прогнозирование парка электромобилей на период 2025–2035 годов в Москве производится на основе прогноза продаж электромобилей и данных о существующем парке электромобилей. Значения потенциального парка электромобилей позволяют количественно выразить использование электромобилей в различных сценариях продаж и являются одной из ключевых

составляющих для расчета потребности в ЭЗС. Результатом прогноза являются значения парка электромобилей на период 2025–2035 годов по типам пользования и сценариям. На графике (рис. 3 и 4) представлены данные прогноза продаж электромобилей и прогноза количества электромобилей в Москве на период 2025–2035 годов.

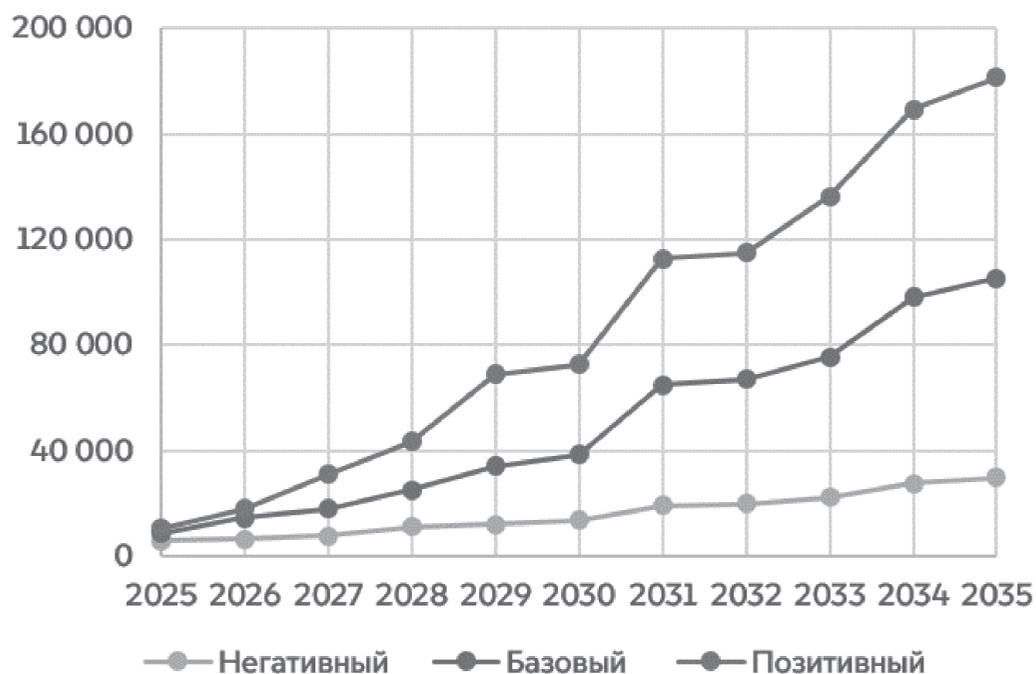


Рис. 3. График прогноза продаж электромобилей в Москве по годам, шт.

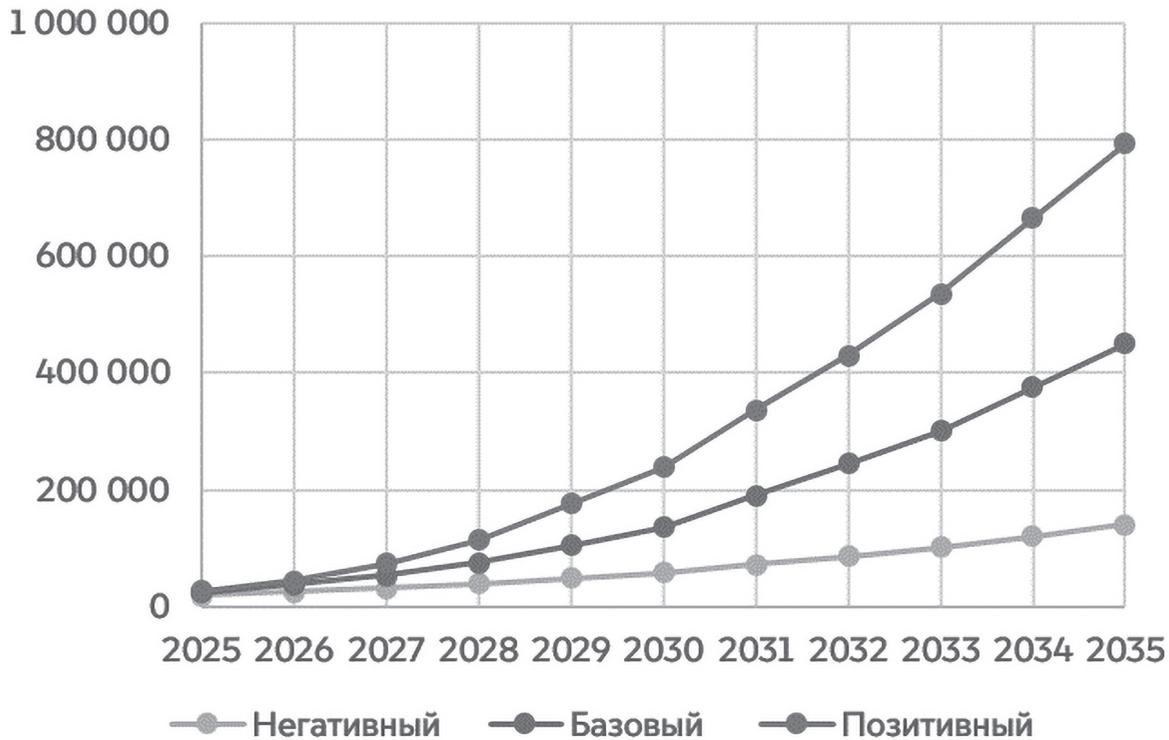


Рис. 4. График прогноза количества электромобилей в Москве по годам, шт.

В основе распределения ЭЗС по районам Москвы лежит анализ потенциальной продолжительности стоянок электромобилей в районах Москвы, а также интенсивности транспортного потока на кольцевых магистралях. Результатом является распределение по районам Москвы количества быстрых и медленных ЭЗС, определенного на предыдущих этапах. Для реализации методики используются данные о продолжительности стоянок легковых автомобилей в районах Москвы, а также общее количество легковых автомобилей в Москве. Дополнительно учитываются данные о транспортном потоке на коль-

цевых магистралях, включая протяженность участков магистралей в районах их пролегания. Для определения весов магистралей в районах применяется отношение потока на конкретной магистрали к общей сумме потоков на всех кольцевых магистралях. Веса магистралей в районах определяются как отношение протяженности магистрали в районе к общей протяженности магистрали. Эти данные затем учитываются при корректировке распределения быстрых ЭЗС в зависимости от интенсивности транспортного потока на кольцевых магистралях в районах их пролегания.

Результаты и обсуждение

Применение прогнозной модели для определения количества и распределения ЭЗС в Москве на период до 2035 года обеспечивает результаты, необходимые для эффективного стратегического планирования и развития зарядной инфраструктуры для электромобилей. Модель основана на комплексном анализе различных факторов, включая данные об интенсивности транспортного потока на магистралях, мировой опыт в установке и развитии ЭЗС и результаты маркетингового исследования. С помощью данной модели пользователи могут прогнозировать как общее требуемое количество ЭЗС в Москве, так и их распределение по конкретным районам. Гибкость модели позволяет пользователям регулировать входные параметры, учитывая текущие

потребности и изменения конъюнктуры рынка.

При разработке модели для оценки потребности в зарядной инфраструктуре для электромобилей важно учитывать различные типы пользователей (такси, каршеринг и личный транспорт). Эти категории имеют уникальные характеристики использования, что влияет на их потребности в зарядной инфраструктуре. Интеграция этого подхода в модель обеспечивает формирование обоснованных предложений по развитию необходимой инфраструктуры. Таким образом, аналитическая модель обеспечивает достаточный уровень точности для планирования [19–21].

Результаты прогноза требуемого количества ЭЗС в Москве представлены в табл. 1.

Таблица 1

Прогнозное требуемое количество ЭЗС в Москве, тыс. ед.

Сценарий	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Негативный	1,6	2,2	2,6	3,3	4,1	4,9	6,1	7,3	8,6	10,3	11,9
Базовый	2,0	3,2	4,5	6,4	8,9	11,5	16,2	20,8	25,6	32,0	38,4
Позитивный	2,2	3,7	6,2	9,6	15,0	20,3	28,7	36,6	45,6	56,6	67,5

На основе анализа данных о продолжительности стоянок легковых автомобилей в различных районах Москвы, интенсивности транспортного потока на кольцевых магистралях (МКАД, ТТК и Садовое кольцо) было осуществлено распределение прогнозируемого

количества ЭЗС по районам Москвы (рис. 5). Данный подход позволил учесть особенности и потребности каждого района с целью обеспечения оптимального доступа к зарядной инфраструктуре для владельцев электромобилей в черте города.

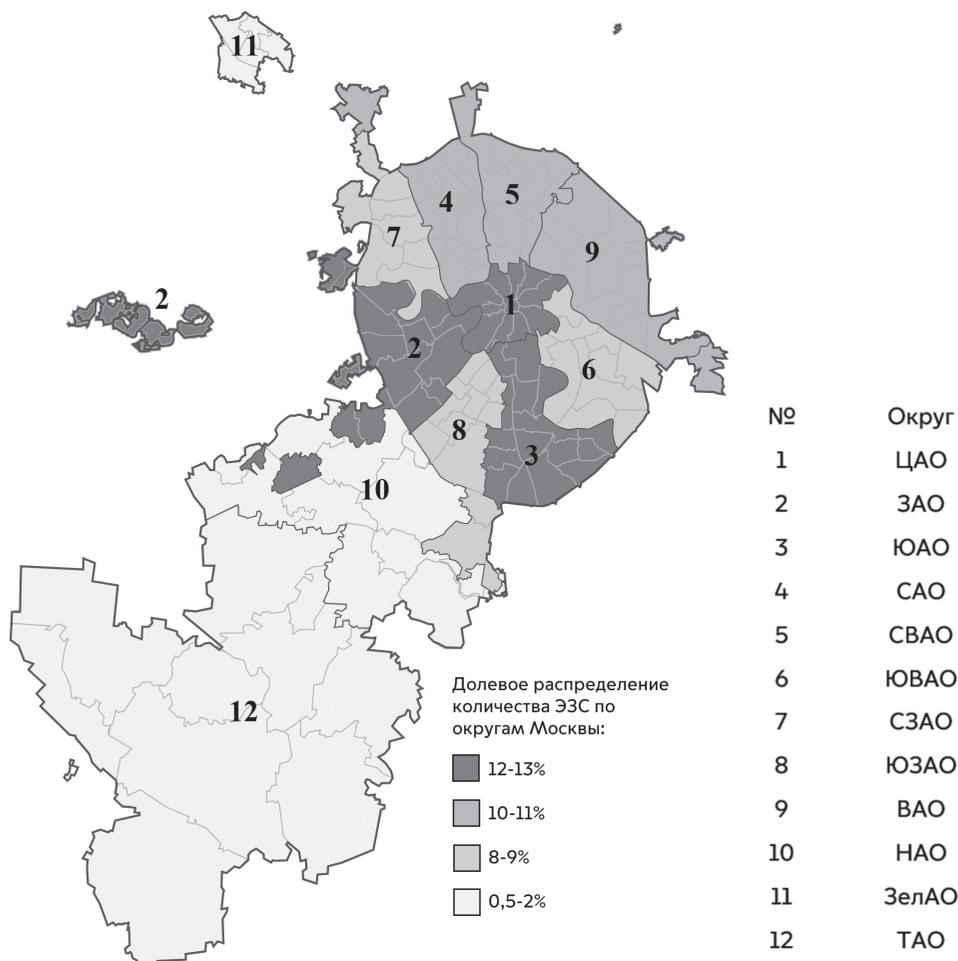


Рис. 5. Прогнозное распределение ЭЗС в Москве по округам

Развитие зарядной инфраструктуры для электромобилей будет сосредоточено на расширении сети медленных ЭЗС, доля которых составит ~89% (распределение актуально для каждого прогнозного года и сценария). Это обусловлено тем, что существенная доля автопарка электромобилей (более 95%) будет состоять из транспортных средств для личного пользования. Для таких владельцев регулярная зарядка предпочтительна возле дома в ночное время, подчеркивая необходимость наличия удобной

зарядной инфраструктуры на жилых территориях и общественных парковках. Таким образом, акцент на создание доступных и эффективных медленных ЭЗС будет ключевым для удовлетворения потребностей в зарядке для большинства пользователей электромобилями. Быстрые ЭЗС составят ~11% от общего количества — они покроют спрос на зарядку электромобилей, требующих нескольких зарядных сессий в день ввиду высокой интенсивности эксплуатации, например такси и каршеринг.

Заключение

Таким образом, по итогам формирования плана развития зарядной инфраструктуры в городе Москве можно сделать следующие выводы:

- разработана гибкая модель прогноза объема инфраструктуры ЭЗС в Москве, позволяющая прогнозировать общее количество и распределение быстрых и медленных ЭЗС в Москве;
- согласно базовому сценарию прогноза, суммарное количество ЭЗС в Москве достигнет к 2035 году 55 900 единиц; негативному сценарию — 17 404 ЭЗС; позитивному сценарию — 98 311 ЭЗС;
- из прогнозируемого количества по всем сценариям преобладающим типом ЭЗС будут медленные — 89% всего количества, что объясняется большим количеством электромобилей в лич-

ном пользовании физических лиц, а данный тип эксплуатации электромобиля предполагает продолжительную зарядку в местах жительства и работы;

- в Москве наибольшая доля прогнозируемых ЭЗС будет располагаться в районах Центрального, Западного и Южного административных округов по причине высокой интенсивности транспортного потока и плотности стоянок легковых автомобилей в указанных районах;
- полученные по итогам анализа данные способствуют планированию в долгосрочной перспективе потребности в электрической мощности в районах Москвы и обеспечивают возможность определения необходимого бюджета на развитие зарядной инфраструктуры.

Список литературы

1. Metais M. O. et al. Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.— 2022.— Т. 153.— С. 111719.
2. Unterluggauer T. et al. Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review // *ETransportation*.— 2022.— Т. 12.— С. 100163.
3. Al-Hanahi B. et al. Charging infrastructure for commercial electric vehicles: Challenges and future works // *IEEE Access*.— 2021.— Т. 9.— С. 121476–121492.
4. London's 2030 electric vehicle infrastructure strategy — Режим доступа: <https://lruc.content.tfl.gov.uk/london-2030-electric-vehicle-infrastructure-strategy-executive-summary-december-2021.pdf> (дата обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
5. Yi Z. et al. Electric vehicle charging demand forecasting using deep learning model // *Journal of Intelligent Transportation Systems*.— 2022.— Т. 26.— № 6.— С. 690–703.
6. Soldan F. et al. Short-term forecast of EV charging stations occupancy probability using big data streaming analysis // *arXiv preprint arXiv:2104.12503*.— 2021.
7. Castro J.F.C. et al. Energy and demand forecasting based on logistic growth method for electric vehicle fast charging station planning with PV solar system // *Energies*.— 2022.— Т. 15.— № 17.— С. 6106.
8. Rho S., Chae M., Won D. Forecast-based Optimal Operation of EV Charging Station with PV Considering Charging Demand and Distributed System // *2024 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*.— IEEE, 2024.— С. 1–5.
9. London's Electric Vehicle Infrastructure Plan — Режим доступа: <https://lruc.content.tfl.gov.uk/tfl-london-electric-vehicle-infrastructure-delivery-plan.pdf> (дата обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
10. A prediction model for the demand of charging stations for electric vehicles in the municipality of Amsterdam. — Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/305034047_A_prediction_model_for_the_demand_of_charging_stations_for_electric_vehicles_in_the_municipality_of_Amsterdam (дата обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
11. Hall D., Lutsey N. Charging infrastructure in cities: Metrics for evaluating future needs // *Europe*— 2020.— Vol. 6.— No. 7.— P. 8.
12. Chen T. et al. A review on electric vehicle charging infrastructure development in the UK // *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*— 2020.— Vol. 8.— No. 2.— P. 193–205.
13. Перспективы развития рынка электро-транспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад / Д. В. Санатов, А. М. Абакумов, А. Ю. Айдемиров [и др.]. — Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021.
14. Дхакал Т. Макроанализ и прогноз перспектив распространения электромобилей / Т. Дхакал, К. С. Мин // *Форсайт*. — 2021.— Т. 15.— № 1.— С. 67–73.

15. Юсупова О. А. Текущее состояние и тренды рынка электромобилей в России и мире // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. — 2021. — № 6. — С. 131–143.

16. Червова Н. В. Рынок электромобилей: этапы, тенденции и перспективы развития // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. — 2023. — № 7. — С. 252–255.

17. Рынок легковых автомобилей с пробегом в России в 2024 году и в декабре. — Режим доступа: <https://www.autostat.ru/press-releases/59289/> (дата обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. рус.

18. Charging up China's transition to electric vehicles. — Режим доступа: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/01/ID-93-%E2%80%93-China-charging-Report-A4-70131-v6.pdf> (дата

обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

19. Key factors influencing Electric Vehicles adoption. Информационный портал Diva. — Режим доступа: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1604160/FULLTEXT02> (дата обращения: 28.01.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

20. Visaria A. A. et al. User preferences for EV charging, pricing schemes, and charging infrastructure // Transportation Research Part A: Policy and Practice. — 2022. — Vol. 165. — P. 120–143.

21. Bhat F. A., Verma M., Verma A. Measuring and modelling electric vehicle adoption of Indian consumers // Transportation in Developing Economies. — 2022. — Vol. 8. — No. 1. — P. 6.

References

1. Metais, M. O., Jouini, O., Perez, Y., Berrada, J., & Suomalainen, E. (2022). Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111719.

2. Unterluggauer, T., Alonso-Mora, J., & Papaefthymiou, G. (2022). Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review. *ETransportation*, 12, 100163.

3. Al-Hanahi, B., Ahmad, I., Habibi, D., & Masoum, M. A. S. (2021). Charging infrastructure for commercial electric vehicles: Challenges and future works. *IEEE Access*, 9, 121476-121492.

4. London's Electric Vehicle Infrastructure Plan. (2025). URL: <https://lruc.content.tfl.gov.uk/tfl-london-electric-vehicle-infrastructure-delivery-plan.pdf> (accessed: 28.01.2025).

5. Yi, Z., Smart, J., & Shirk, M. (2022). Electric vehicle charging demand forecasting using deep learning model. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 26(6), 690-703.

6. Soldan, F., Cesana, M., & Redondi, A. E. C. (2021). Short-term forecast of EV charging stations occupancy probability using big data streaming analysis. *arXiv preprint arXiv:2104.12503*.

7. Castro, J. F. C., Lopes, J. A. P., & Soares, F. J. (2022). Energy and demand forecasting based on logistic growth method for electric vehicle fast charging station planning with PV solar system. *Energies*, 15(17), 6106.

8. Rho, S., Chae, M., & Won, D. (2024). Forecast-based Optimal Operation of EV Charging Station with PV Considering Charging Demand

and Distributed System. In 2024 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) (pp. 1-5). IEEE.

9. London's 2030 electric vehicle infrastructure strategy. (2021). URL: <https://lruc.content.tfl.gov.uk/london-2030-electric-vehicle-infrastructure-strategy-executive-summary-december-2021.pdf> (accessed: 28.01.2025).

10. A prediction model for the demand of charging stations for electric vehicles in the municipality of Amsterdam. (2025). URL: https://www.researchgate.net/publication/305034047_A_prediction_model_for_the_demand_of_charging_stations_for_electric_vehicles_in_the_municipality_of_Amsterdam (accessed: 28.01.2025).

11. Hall, D., & Lutsey, N. (2020). Charging infrastructure in cities: Metrics for evaluating future needs. *Europe*, 6(7), 8.

12. Chen, T., Zhang, X.-P., Wang, J., Li, J., Wu, C., Hu, M., & Bian, H. (2020). A review on electric vehicle charging infrastructure development in the UK. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 8(2), 193-205.

13. Sanatov, D. V., Abakumov, A. M., Aydemirov, A. Yu., et al. (2021). Perspektivy razvitiya rynka elektrotransporta i zaryadnoy infrastruktury v Rossii: Ekspertno-analiticheskiy doklad [Prospects for the development of the electric transport market and charging infrastructure in Russia: Expert analytical report]. Saint Petersburg: POLYTEX-PRESS, 44 p.

14. Dkhakal, T., & Min, K. S. (2021). Makroanaliz i prognoz perspektiv rasprostraneniya elektromobiley [Macro-analysis and forecast of electric vehicle adoption prospects]. *Forsayt [Foresight]*, 15(1), 67-73.

15. Yusupova, O.A. (2021). Tekushchee sostoyanie i trendy rynka elektromobiley v Rossii i mire [Current state and trends of the electric vehicle market in Russia and the world]. ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika [STAGE: Economic Theory, Analysis, Practice], 6, 131-143.

16. Chervova, N.V. (2023). Rynok elektromobiley: etapy, tendentsii i perspektivy razvitiya [Electric vehicle market: stages, trends and development prospects]. Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki [Humanities, Socio-Economic and Social Sciences], 7, 252-255.

17. Rynok legkovykh avtomobiley s probegom v Rossii v 2024 godu i v dekabre [The used car market in Russia in 2024 and in December]. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/59289/> (accessed: 28.01.2025).

18. Charging up China's transition to electric vehicles. (2024). URL: <https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/01/ID-93-%E2%80%93-China-charging-Report-A4-70131-v6.pdf> (accessed: 28.01.2025).

19. Key factors influencing Electric Vehicles adoption. (2025). Informational portal Diva. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1604160/FULLTEXT02> (accessed: 28.01.2025).

20. Visaria, A. A., Boyle, L. N., Choudhary, T., Stavrinou, D., & Fagnant-Speier, D. J. (2022). User preferences for EV charging, pricing schemes, and charging infrastructure. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 165, 120-143.

21. Bhat, F. A., Verma, M., & Verma, A. (2022). Measuring and modelling electric vehicle adoption of Indian consumers. Transportation in Developing Economies, 8(1), 6.

Статья получена 10.01.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Хайретдинова Алина Ринатовна

директор дирекции по развитию электротранспортных средств
ГУП «Московский метрополитен»
Адрес: ГУП «Московский метрополитен», 129110, г. Москва, пр-т Мира, д. 41, стр. 2
ORCID: 0009-0004-7931-6872
E-mail: KhayretdinovaAR2@transport.mos.ru

Касаткин Иван Игоревич

руководитель проекта конструкторского отдела.
Дирекция по развитию электротранспортных средств
ГУП «Московский метрополитен»
Адрес: ГУП «Московский метрополитен», 129110, г. Москва, пр-т Мира, д. 41, стр. 2
ORCID: 0009-0008-2613-4708
E-mail: KasatkinII@transport.mos.ru

Колбасов Алексей Федорович

кандидат технических наук, начальник отдела лабораторных испытаний и сертификации.
Дирекция по развитию электротранспортных средств
ГУП «Московский метрополитен»
Адрес: ГУП «Московский метрополитен», 129110, г. Москва, пр-т Мира, д. 41, стр. 2
SPIN-код: 1846-1751,
AuthorID: 798594,
ORCID: 0000-0001-5259-50-59
E-mail: kolbasovAF1@transport.mos.ru

Information about the authors

Khayretdinova Alina Rinatovna

Director of Electric Vehicle Development State Unitary Enterprise «Moscow Metro»
Address: SUE «Moscow Metro», 129110, Moscow, Prospekt Mira, 41, building 2
ORCID: 0009-0004-7931-6872
E-mail: KhayretdinovaAR2@transport.mos.ru

Kasatkin Ivan Igorevich

Project Head of the Design Department.
Directorate of Electric Vehicle Development SUE «Moscow Metro».
Address: SUE «Moscow Metro», 129110, Moscow, Prospekt Mira, 41, building 2
ORCID: 0009-0008-2613-4708
E-mail: KasatkinII@transport.mos.ru

Kolbasov Alexey Fedorovich

Candidate of Technical Sciences, Director of Laboratory Testing and Certification Department.
Directorate of Electric Vehicle Development SUE «Moscow Metro»
Address: SUE «Moscow Metro», 129110, Moscow, Prospekt Mira, 41, building 2
SPIN-code: 1846-1751,
AuthorID: 798594,
ORCID: 0000-0001-5259-50-59
E-mail: kolbasovAF1@transport.mos.ru

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ БЕЗОПАСНОЙ И КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ ВЕЛОСИПЕДОВ И СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

С. В. Жанказиев

М. В. Гаврилюк

А. М. Меркович

*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)*

Аннотация. Статья посвящена анализу проблем безопасности движения велосипедистов и пользователей средств индивидуальной мобильности (СИМ) в России и странах Европы. Актуальность темы обусловлена ростом популярности велосипедов и СИМ, что приводит к увеличению числа конфликтов между различными участниками дорожного движения, особенно в крупных городах, где наблюдается значительный рост аварийности с участием СИМ. Исследование основано на анализе официальной статистики дорожно-транспортной аварийности, а также опыте европейских стран по внедрению комплексных мер повышения безопасности пользователей СИМ и велосипедов. Проведен анализ международного опыта по внедрению комплексных мероприятий, включающих ограничение скорости транспорта в городских зонах, увеличение финансирования безопасной инфраструктуры и реализацию образовательных программ. Комплексный подход через разработку Национальной стратегии развития велосипедного движения является ключевым фактором повышения безопасности и популяризации использования велосипедов и СИМ, что подтверждается успешным опытом европейских стран, где такие стратегии способствуют увеличению доли населения, предпочитающего альтернативные виды мобильности.

Ключевые слова: велосипеды, средство индивидуальной мобильности, СИМ, стратегия развития велосипедного движения, микромобильность, инфраструктура, кикшеринг, конфликтность, аварийность.

ANALYSIS OF APPROACHES TO CREATING A SAFE AND COMFORTABLE ENVIRONMENT FOR BICYCLE AND PERSONAL MOBILITY DEVICE MOVEMENT

S. V. Zhankaziev

M. V. Gavrilyuk

A. M. Merkovich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Abstract. This article analyzes safety issues concerning cyclists and personal mobility device (PMD) users in Russia and European countries. The topic's relevance stems from the growing popularity of bicycles and PMDs, leading to increased conflicts between various road users, particularly in major cities where accident rates involving PMDs have risen significantly. The research is based on analysis of official traffic accident

statistics and European countries' experience in implementing comprehensive measures to improve safety for PMD and bicycle users. The study examines international experience in implementing comprehensive measures, including speed restrictions in urban areas, increased funding for safe infrastructure, and implementation of educational programs. A comprehensive approach through the development of a National Cycling Development Strategy represents a key factor in improving safety and promoting bicycle and PMD use, as confirmed by the successful experience of European countries where such strategies contribute to increasing the proportion of the population preferring alternative mobility options.

Keywords: bicycles, personal mobility device, PMD, cycling development strategy, micromobility, infrastructure, kick-sharing, conflict potential, accident rate.

Введение

В последние годы в России наблюдается активное развитие средств индивидуальной мобильности (СИМ), а также рост популярности велосипедов как средства передвижения. Несмотря на сезонный характер использования этих видов транспорта, их массовое применение приводит к увеличению числа конфликтов с участием пользователей СИМ и велосипедистов. Особенно остро эта проблема проявляется в крупных городах, таких как Москва, где зафиксирован значительный рост аварийности с участием СИМ. Это вызывает социальную напряженность, связанную с недовольством среди пешеходов и автомобилистов, что подчеркивает необходимость поиска эффективных решений для повышения безопасности на дорогах.

Проблема аварийности с участием СИМ и велосипедов характерна не только для России, но и для стран Европы. Уровень аварийности в европейских странах остается высоким, несмотря на развитую инфраструктуру и проведение различных мероприятий по улучшению уровня

безопасности, таких как образовательные кампании и внедрение технологических инноваций. Это свидетельствует о том, что само по себе создание инфраструктуры не является достаточным условием для решения проблемы. Требуется комплексный подход, включающий также внедрение нормативных мер и усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения [1].

При проведении анализа проблемы аварийности с участием СИМ и велосипедов в России были использованы данные официальной статистики, в частности были рассмотрены данные Национального центра безопасности дорожного движения (НЦ БДД) за 9 месяцев 2024 года, которые свидетельствуют о снижении количества ДТП с участием велосипедистов на 4,4% (4483 случая) (график — рис. 1), при этом количество аварий с участием СИМ увеличилось на 47,2% (3897 случаев) (график — рис. 2). Наибольшее количество ДТП зарегистрировано в г. Москве (1178), в Красноярском крае (350) и Нижегородской (216) области [2].

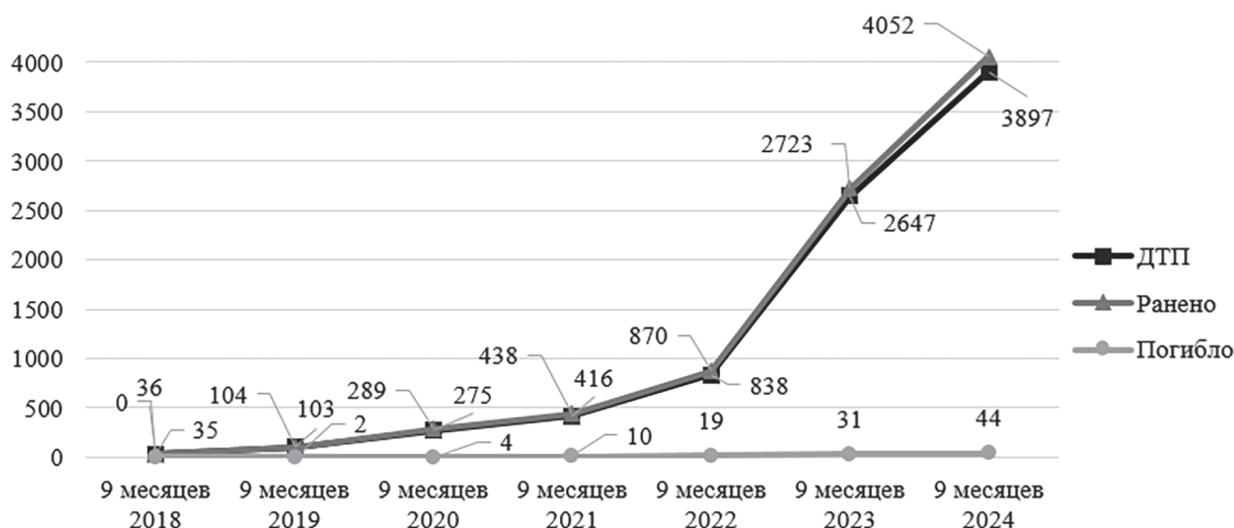


Рис. 1. График динамики основных показателей аварийности с участием СИМ

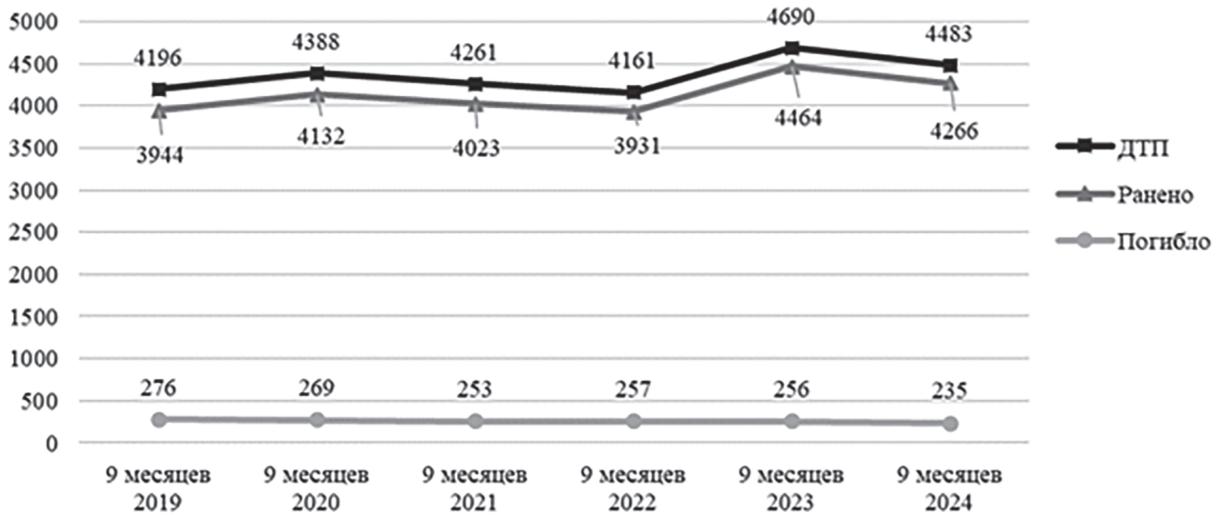


Рис. 2. График динамики основных показателей аварийности с велосипедистами

Несмотря на развитую инфраструктуру велосипедного движения в Европе, появление на улицах СИМ спровоцировало рост ДТП. Например, в Италии в 2023 году было зарегистрировано 3365 ДТП с участием электросамокатов, что на 21% больше, чем годом ранее [3].

Несмотря на комплекс мероприятий, реализуемых в Европе с целью совершенствования и развития транспортной инфраструктуры, их эффективность оказывается недостаточной для полного решения проблемы аварийности. В 2023 году было отмечено снижение уровня травматизма среди пользователей средств индивидуальной мобильности СИМ, включая электронные скуте-

Метод

В целях исследования международного опыта в области формирования безопасной и комфортной среды для движения велосипедов и СИМ был применен сравнительный анализ стратегических документов, нормативных актов и специализированной литературы. Для проведения сравнительного анализа использовался систематический сбор и детальная обработка данных из различных источников. Основными источниками данных послужили официальная статистика, документы министерств транспорта, новостные порталы, а также данные, предоставленные профильными организациями велосипедного движения из различных стран.

Сбор первичной информации осуществлялся посредством поиска вторичных источников (например, отчеты о состоянии разработки стратегических документов), за которым следовал поиск первоисточников — оригинальных документов, разработанных компаниями, государственными

ры и электровелосипеды, что стало результатом внедрения технологических инноваций, проведения образовательных кампаний и модернизации инфраструктуры [4].

Для решения проблемы аварийности с пользователями СИМ на территории Российской Федерации необходимо сформировать комплексный подход, определяющий не только ограничения для пользователей. Для качественного развития экосистемы необходимо выполнять работы, направленные на создание безопасной инфраструктуры движения велосипедов и СИМ, и другие мероприятия, анализ которых проведен в этой статье.

органами или независимыми экспертами. В исследование вошли доклады министерств транспорта, дорожных служб и национальных центров безопасности дорожного движения, а также материалы, подготовленные профильными организациями, специализирующимися на развитии велосипедной инфраструктуры и безопасности движения. Для получения дополнительных данных были проанализированы публикации на новостных порталах и тематических ресурсах.

Для обеспечения достоверности результатов применялись следующие методы:

- анализ официальной статистики ДТП;
- изучение нормативно-правовой базы;
- оценка состояния велосипедной инфраструктуры;
- анализ образовательных программ для участников дорожного движения;
- исследование мер государственной поддержки развития велодвижения.

Полученные данные подвергались обработке с использованием методов сравнительного анализа, что позволило выявить наиболее эффективные практики и определить перспективные направ-

Результаты и обсуждение

С учетом того, что в странах Европы велосипедная инфраструктура находится на высоком уровне развития, что подтверждается данными различных рейтингов [5], становится очевидным, что исключительно инфраструктурные меры не способны в полной мере обеспечить безопасность пользователей СИМ. Для решения проблемы аварийности в европейских странах применяется более широкий спектр мероприятий, выходящих за рамки инфраструктурного развития. В частности, Европейская ассоциация микромобильности (EMIF) и ее участники активно взаимодействуют с заинтересованными сторонами в рамках реализации стратегии Vision Zero, направленной на минимизацию дорожно-транспортных происшествий и повышение уровня безопасности на дорогах. Достижение этих целей требует комплексного подхода, предполагающего вовлечение всех заинтересованных субъектов, включая, но не ограничиваясь, операторов микромобильного транспорта.

В качестве ключевых мер, предлагаемых для снижения аварийности, выделяются следующие:

- введение ограничений на максимальную скорость движения моторизованного транспорта в городских зонах. Данная мера направлена на снижение рисков возникновения ДТП и повышение безопасности всех участников дорожного движения;
- увеличение объемов финансирования для развития безопасной транспортной инфраструктуры. Инвестиции в инфраструктуру на территории Европейского союза должны быть направлены на создание условий для безопасного использования СИМ и велосипедов;
- оказание методической и информационной поддержки муниципальным образованиям. Это включает предоставление аналитических данных для обслуживания инфраструктуры, используемой в целях микромобильности, что способствует своевременному выявлению и устранению потенциальных рисков;
- содействие городам в реализации образовательных программ и информационных кампаний. Повышение осведомленности участников дорожного движения о правилах безопасности является важным элементом снижения аварийности;
- укрепление взаимодействия с правоохранительными органами. Обеспечение последова-

ления развития данной сферы. Такой подход обеспечил возможность сделать объективные выводы о состоянии подходов к формированию безопасной среды в разных странах.

тельного и справедливого применения санкций в отношении нарушителей правил дорожного движения независимо от типа используемого транспортного средства (электросамокаты, велосипеды, автомобили) способствует формированию культуры безопасного поведения на дорогах.

Для системного взаимодействия и координации предлагаемых мероприятий в области повышения безопасности и развития микромобильности применяется такой инструмент планирования, как национальные велосипедные стратегии. Этот подход широко используется в мировой практике и является важным механизмом для продвижения велосипедного движения. Мероприятия, предлагаемые в рамках таких стратегий, эффективны не только в крупных мегаполисах, но и в малых и средних городах, а также в сельской местности, где велосипед и СИМ могут не являться основным выбором для большинства населения.

Основная задача национальных стратегий заключается в мобилизации необходимых ресурсов и объединении усилий всех заинтересованных сторон для стимулирования изменений в транспортной системе и привлечения большего числа людей к использованию велосипедов и СИМ. Важным шагом в этом направлении стало принятие в мае 2021 года Пан-Европейского генерального плана под эгидой Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Европейской экономической комиссии ООН. В рамках этого плана 54 страны пан-европейского региона обязались разработать и реализовать национальные стратегии развития велосипедного движения к 2030 году [6]. Национальные велосипедные стратегии становятся ключевым инструментом для достижения целей, связанных с повышением безопасности, развитием инфраструктуры и популяризацией экологически устойчивых видов транспорта. Их реализация требует комплексного подхода, включающего не только инфраструктурные изменения, но и образовательные, нормативные и информационные меры, что согласуется с ранее предложенными инициативами в рамках стратегии Vision Zero. Впервые документ, схожий с нынешними национальными стратегиями велосипедного движения, появился в Нидерландах в 1990 году, после этого в Великобритании в 1996 году, в Германии в 2002 году и в Чехии в 2004 году.

Национальные стратегии развития велосипедного движения являются инструментом планирования, объединяющим государственные программы, принятые на национальном уровне в поддержку велотранспорта, мотивирующим государственные органы, бизнес-сектор и гражданское общество к поддержке мероприятий велосипедного движения [7–9].

Основное содержание велосипедных планов состоит в следующем:

- инфраструктура — элемент, который присутствует в каждой стратегии развития велотранспорта;
- интеграция велосипедного и общественного транспорта для развития интермодальности (например, велопарковки и более доступные места на станциях, перевозка велосипедов в поездах и автобусах);
- повышение безопасности дорожного движения для велосипедистов, часто вместе с улучшением инфраструктуры;
- развитие или расширение национальной сети велосипедных маршрутов;
- финансирование пилотных проектов, исследований и информационно-просветительских кампаний (например, продвижение национальных исследовательских программ по велосипедному движению);
- обмен и продвижение передового опыта (учреждение ежегодных премий и конкурсов для муниципалитетов, предприятий или университетов, например «Велосипедное туристическое решение года» в Дании, «Немецкая велосипедная премия» в Германии);
- систематический подход на национальном уровне к финансированию строительства велоинфраструктуры и продвижения велосипедов с учреждением регулярных и постоянных государственных инвестиций.

Кроме того, некоторые планы предусматривают пересмотр норм, регулирующих защиту природы и ландшафта, чтобы разрешить движение велосипедов в природных зонах (например, в Испании). Другими элементами, которые можно рассматривать как общие приоритеты в наци-

ональных велосипедных стратегиях в Европе, являются:

- совершенствование производства и мониторинга данных об объемах пеших и велосипедных прогулок, возможно, с открытым исходным кодом. Так, в Германии система мониторинга «Велосипедный монитор» регулярно предоставляет информацию по темам, связанным с велосипедным движением, в форме репрезентативного опроса;
- образовательные программы, ориентированные, в частности, на детей (инициативы «велосипед в школу», включение велоспорта в число факультативных предметов);
- противоугонные меры (безопасные велопарковки, системы регистрации/идентификации велосипедов);
- развитие велосипедной логистики как экологически чистой альтернативы перевозке грузов в автомобиле или фургоне;
- промышленные стратегии, подчеркивающие экономическую важность велосипедной промышленности как стратегического промышленного сектора, направленные на укрепление отечественной велосипедной промышленности;
- инвестиции в велотуризм с целью стимулирования туристического сектора или отвлечения туристов от переполненных районов к менее известным.

По итогам проведенной аналитики передового опыта различных стран определено, что основной движущей силой для развития и успешной реализации мероприятий по созданию качественной инфраструктуры для пользователей велосипедов и СИМ является Национальная стратегия. Документ закладывает базовые принципы и приоритеты велосипедизации на государственном уровне, учитывая запросы общества, бизнеса и интересы государства. Поэтому доля лиц, использующих велосипед в качестве предпочтительного вида транспорта, в таких странах выше (данные Европейского экономического и социального совета).

Ниже приведена сводная информация по странам, имеющим Национальную стратегию развития велодвижения (табл. 1).

Таблица 1

Сводная таблица по реализуемым мероприятиям в европейских странах

Мероприятие	Нидерланды [10, 14]	Австрия [11, 12, 14]	Германия [13, 14]	Франция [14–16]
Развитие инфраструктуры	Создание велосипедных улиц. Развитие региональной сети велосипедных скоростных маршрутов	Расширение дорожной инфраструктуры. Установление в качестве стандарта односторонних велосипедных улиц в местных районах с возможностью ограничения	Создание межгородских и городских велосипедных сетей. Развитие качественной инфраструктуры	Развитие велосипедной инфраструктуры

Мероприятие	Нидерланды [10, 14]	Австрия [11, 12, 14]	Германия [13, 14]	Франция [14–16]
Образование и популяризация велосипедного движения и микро-мобильности	Тренинги и образовательные программы. Развитие велотуризма	Развитие системы проката велосипедов. Продвижение перевозок пассажиров и грузов на велосипедах. Развитие велотуризма	Реализация программ по обучению пользователей велосипедов и СИМ. Развитие велотуризма	Образовательные программы для учеников школ. Развитие велотуризма
Регулирование скорости движения	Ограничение скоростного режима движения электровелосипедов	-	Ограничение скорости движения велосипедов и СИМ, создание медленных зон	Ограничение скоростного режима движения электровелосипедов и СИМ, создание медленных зон и зон запрета движения
Правовые и экономические меры	Возрастные ограничения на использование СИМ. Отказ от эксплуатации электросамокатов. Запрет движения СИМ по тротуарам	Возрастные ограничения на использование СИМ. Субсидированная программа для покупки велосипедов частным лицам	Возрастные ограничения на использование СИМ. Налоговые льготы при покупке и использовании велосипедов	Возрастные ограничения на использование СИМ. Поддержка производителей велосипедов. Субсидированная программа для покупки велосипедов
Внедрение инноваций и технологий	-	Развитие кикшеринговых компаний	-	Электронная регистрация велосипедов

При этом следует отметить, что основные цели развития велосипедного движения во всех странах схожи и направлены на повышение безопасности дорожного движения и рост комфорта для всех пользователей. Среди общих направлений можно выделить следующие:

- 1) повышение безопасности всех участников дорожного движения;
- 2) повышение привлекательности использования альтернативных форм мобильности;
- 3) развитие велотуризма;
- 4) повышение качества жизни.

Заключение

Анализ опыта стран Европы показал высокую эффективность национальных велосипедных стратегий, которые объединяют все заинтересованные стороны и направляют ресурсы на достижение целей повышения безопасности, развития инфраструктуры и популяризации экологически устойчивых видов транспорта. Однако для успешной реализации подобных стратегий в России необходима разработка специальной методики внедрения соответствующей инфраструктуры. Такая методика должна быть направлена на комплексную оценку качества

существующей инфраструктуры для велотранспортных средств и СИМ, а также на выбор наиболее оптимальных решений с учетом минимизации конфликтности участков и повышения комфорта передвижения пользователей данных видов транспорта. Это позволит обеспечить системный и научно обоснованный подход к созданию безопасной и эффективной инфраструктуры для всех категорий пользователей, способствуя формированию культуры безопасного поведения на дорогах и развитию альтернативных форм мобильности [23].

Список литературы

1. Fedorov P. A. Improving road safety using personal mobility means // Law and legislation. 2024;(12):120–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2073-3313-2024-12-120-123>. EDN: <https://elibrary.ru/CWINEK>.
2. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2024 года. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024.

3. Italy acts against ‘wild’ e-scooters after rise in accidents // The Straits Times. 21 ноября 2024. — Режим доступа: <https://www.straitstimes.com/world/europe/italy-acts-against-wild-e-scooters-after-rise-in-accidents> (дата обращения: 19.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
4. Injuries of micro-mobility users continue to drop dramatically, MMfE released micro-mobility accident data shows // Micro-mobility

for Europe. Май 2024. — Режим доступа: <https://micromobilityforeurope.eu/injuries-of-micromobility-users-continue-to-drop-dramatically-mmfe-released-micro-mobility-accident-data-shows/> (дата обращения 19.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

5. Best Cycling Cities in Europe: Top 20 Bike-Friendly Places // DISCERNING CYCLIST. 04 декабря 2023. — режим доступа: <https://discerningcyclist.com/best-cycling-cities-europe/> (дата обращения: 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

6. Cycling Strategies in Europe: Progress made, but the pace must accelerate// European cyclists' Federation. 12 декабря 2024. — Режим доступа: <https://www.ecf.com/en/news/cycling-strategies-in-europe-progress-made-but-the-pace-must-accelerate/> (дата обращения: 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

7. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS // Proposing a European Declaration on Cycling. 4 декабря 2023. — Режим доступа: <https://transition-pathways.europa.eu/system/files/2024-09/Proposing%20a%20European%20Declaration%20on%20Cycling.pdf> (дата обращения 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

8. EuroVelo developments and signage are gaining in importance in 2024, but faster progress is needed!// EuroVelo for professionals. 19 сентября 2024. — Режим доступа: https://pro.eurovelo.com/news/2024-09-19_eurovelo-developments-and-signage-are-gaining-in-importance-in-2024-but-faster-progress-is-needed (дата обращения: 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

9. The state of national cycling strategies in Europe (2024). 4-th edition // European Cyclists' Federation, Декабрь 2024. Режим доступа: https://www.ecf.com/media/resources/2024/The-State-of-National-Cycling-Strategies-in-Europe-2024_ECF_final%20241212.pdf (дата обращения 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

10. Best Practices Dutch Cycling // DUTCH CYCLING EMBASSY. 2021 — Режим доступа: <https://bicycleinfrastructuremanuals.com/manuals5/Dutch-Cycling-Embassy-Best-Practices-Dutch-Cycling-2021.pdf> (дата обращения: 21.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

11. bmvit — Federal Ministry for Transport, «Austrian Road Safety Programme 2011–2020,» 2011. — Режим доступа: <https://www.bmk.gv.at/>

dam/jcr:7fab9a6e-348b-4a2c-87cc-f1db78c63d2b/rsp2020_2016.pdf, (дата обращения 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

12. Nachhaltigkeitsbericht 2021 // JOBRAD. 30 июня 2022. — Режим доступа: <https://www.jobrad.org/media/ueberuns/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsbericht-2021.pdf>, (дата обращения 20.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. нем.

13. Digitale Radfahrausbildung setzt sich durch // Fachverlag der Deutschen Verkehrswacht. Январь 2023. — Режим доступа: <https://www.verkehrswacht-medien-service.de/grundschule/die-radfahrausbildung/die-radfahrausbildung-arbeitsheftportal-fuer-klasse-3-4/digitale-radfahrausbildung-setzt-sich-durch/>, (дата обращения 21.02.2025) — Заглавие с экрана. — Яз. нем.

14. F. Ministry Republic of Austria Climate Action, E. Mobility, and R. Française — Ministère chargé des transports, «THE PEP Partnership on Cycling,» 2021 //Annex 1 of the Pan-European master plan for cycling promotion, Май 2021. — Режим доступа: https://www.klimaaktiv.at/fileadmin/Bibliothek/Publikationen/2021_THEPEP_Partnership_Cycling_Promotion_Toolbox.pdf, (дата обращения: 21.02.2025) — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

15. Le développement du vélo en France en 2025, où en sommes-nous? // PISTES CYCLABLES. 23 Февраля 2025. Режим доступа: <https://www.pistes-cyclables.com/2025/02/le-developpement-du-velo-en-france-en-2025-ou-en-sommes-nous/> (дата обращения: 25.02.2025). — Заглавие с экрана. — Яз. фр.

16. План развития велосипедной инфраструктуры во Франции на 2023–2027 годы // Документ пресс-службы Правительства Франции, 5 мая 2023 г. — Режим доступа: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23100_DP-Plan-velo-2023.pdf (дата обращения: 25.02.2025).

17. Estrategia estatal por la bicicleta // документ министерства транспорта, мобильности и городской политики (MITMA), Июль 2021. Режим доступа: https://cdn.climatepolicyradar.org/navigator/ESP/2021/state-bicycle-strategy_16eccc93f185bea8c95df5cbefe1af1b.pdf, (дата обращения: 25.02.2025).

18. Cycle Infrastructure Design // Документ Министерства транспорта Великобритании, Июль 2020. — Режим доступа: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ffa1f96d3bf7f65d9e35825/cycle-infrastructure-design-ltn-1-20.pdf>, (дата обращения: 25.02.2025).

19. Cycle to Work Scheme Guidance for Employers // Документ Министерства транспорта Великобритании, Июнь 2019. — Режим

доступа: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5dc9475440f0b64251080457/cycle-to-work-guidance.pdf>, (дата обращения: 25.02.2025).

20. Gear Change. A bold vision for cycling and walking // Документ Министерства транспорта Великобритании, 2020.— Режим доступа: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904146/gear-change-a-bold-vision-for-cycling-and-walking.pdf, (дата обращения: 25.02.2025).

21. Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana // Документ Министерства инфраструктуры и транспорта Италии, 1 августа 2022.— Режим доступа: <https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-08/PG%20Mobilit%C3%A0%20Ciclista%20e%20allegati.pdf>,

(дата обращения: 25.02.2025).

22. Transformative Projects (электронная база проектов) // People for bikes // 23 февраля 2025.— Режим доступа: <https://infrastructure.peopleforbikes.org/project-list/>, (дата обращения: 25.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. англ.

23. Жанказиев С. В. Концепция методики повышения безопасности дорожного движения за счет предоставления безопасного маршрута пользователям средств индивидуальной мобильности / С. В. Жанказиев, М. Н. Вражнова, А. А. Пашкова // Мир транспорта и технологических машин.— 2023.— № 1–1(80).— С. 43–49.— DOI 10.33979/2073–7432–2023–1(80)–1–43–49.— EDN VJYJSF.

References

1. Fedorov P.A. Improving road safety using personal mobility means // Law and legislation. 2024;(12):120—123. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2073-3313-2024-12-120-123> EDN: <https://elibrary.ru/CWINEK>

2. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 9 mesyatsyev 2024 goda. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2024, 41 s. [Road Traffic Accidents in the Russian Federation for 9 Months of 2024. Information and Analytical Review. Moscow: Federal State Institution «Scientific Center for Road Safety of the Ministry of Internal Affairs of Russia», 2024, 41 p.]

3. Italy acts against 'wild' e-scooters after rise in accidents // The Straits Times. 21 November 2024.— Available at: <https://www.straitstimes.com/world/europe/italy-acts-against-wild-e-scooters-after-rise-in-accidents> (accessed: 19.02.2025).

4. Injuries of micro-mobility users continue to drop dramatically, MMfE released micro-mobility accident data shows // Micro-mobility for Europe. May 2024.— Available at: <https://micromobilityforeurope.eu/injuries-of-micro-mobility-users-continue-to-drop-dramatically-mmfe-released-micro-mobility-accident-data-shows/> (accessed: 19.02.2025).

5. Best Cycling Cities in Europe: Top 20 Bike-Friendly Places // DISCERNING CYCLIST. 04 December 2023.— Available at: <https://discerningcyclist.com/best-cycling-cities-europe/> (accessed: 20.02.2025).

6. Cycling Strategies in Europe: Progress made, but the pace must accelerate // European cyclists' Federation. 12 December 2024.— Available at: <https://www.ecf.com/en/news/cycling-strategies-in-europe-progress-made-but-the-pace-must-accelerate/>

(accessed: 20.02.2025).

7. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS // Proposing a European Declaration on Cycling. 4 December 2023.— Available at: <https://transition-pathways.europa.eu/system/files/2024-09/Proposing%20a%20European%20Declaration%20on%20Cycling.pdf> (accessed: 20.02.2025).

8. EuroVelo developments and signage are gaining in importance in 2024, but faster progress is needed! // EuroVelo for professionals. 19 September 2024.— Available at: https://pro.eurovelo.com/news/2024-09-19_eurovelo-developments-and-signage-are-gaining-in-importance-in-2024-but-faster-progress-is-needed (accessed: 20.02.2025).

9. The state of national cycling strategies in Europe (2024). 4-th edition // European Cyclists' Federation, December 2024. Available at: https://www.ecf.com/media/resources/2024/The-State-of-National-Cycling-Strategies-in-Europe-2024_ECF_final%2041212.pdf (accessed: 20.02.2025).

10. Best Practices Dutch Cycling // DUTCH CYCLING EMBASSY. 2021 — Available at: <https://bicycleinfrastructuremanuals.com/manuals/5/Dutch-Cycling-Embassy-Best-Practices-Dutch-Cycling-2021.pdf> (accessed: 21.02.2025).

11. bmvit – Federal Ministry for Transport, «Austrian Road Safety Programme 2011 – 2020,» 2011. Available at: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:7fab9a6e-348b-4a2c-87cc-f1db78c63d2b/rsp2020_2016.pdf (accessed: 20.02.2025).

12. Nachhaltigkeitsbericht 2021 [Sustainability

Report 2021] // JOBRAD. 30 June 2022. Available at: <https://www.jobrad.org/media/ueberuns/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsbericht-2021.pdf> (accessed: 20.02.2025).

13. Digitale Radfahrausbildung setzt sich durch [Digital Cycling Training Prevails] // Fachverlag der Deutschen Verkehrswacht. January 2023. Available at: <https://www.verkehrswacht-medien-service.de/grundschule/die-radfahrausbildung/die-radfahrausbildung-arbeitsheft-portal-fuer-klasse-3-4/digitale-radfahrausbildung-setzt-sich-durch/> (accessed: 21.02.2025).

14. F. Ministry Republic of Austria Climate Action, E. Mobility, and R. Française - Ministère chargé des transports, «THE PEP Partnership on Cycling,» 2021 // Annex 1 of the Pan-European master plan for cycling promotion, May 2021. Available at: https://www.klimaaktiv.at/fileadmin/Bibliothek/Publikationen/2021_THEPEP_Partnership_Cycling_Promotion_Toolbox.pdf (accessed: 21.02.2025).

15. Le développement du vélo en France en 2025, où en sommes-nous? [Bicycle Development in France in 2025, Where Do We Stand?] // PISTES CYCLABLES. 23 February 2025. Available at: <https://www.pistes-cyclables.com/2025/02/le-developpement-du-velo-en-france-en-2025-ou-en-sommes-nous/> (accessed: 25.02.2025).

16. Plan razvitiya velosipednoy infrastruktury vo Frantsii na 2023-2027 gody. // Dokument press-sluzhby pravitel'stva Frantsii, 5 maya 2023 g. - Rezhim dostupa: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23100_DP-Plan-velo-2023.pdf (data obrashcheniya 25.02.2025) [Cycling Infrastructure Development Plan in France for 2023-2027. // Document of the French Government Press Service, May 5, 2023. - Available at: https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/23100_DP-Plan-velo-2023.pdf (accessed 25.02.2025)]

17. Estrategia estatal por la bicicleta [State Bicycle Strategy] // Document of the Ministry of Transport, Mobility and Urban Policy (MITMA), July 2021. Available at: https://cdn.climatepolicyradar.org/navigator/ESP/2021/state-bicycle-strategy_16eccc93f185bea8c95df5cbefelaf1b.pdf (accessed: 25.02.2025).

18. Cycle Infrastructure Design // Document of the UK Department for Transport, July 2020. Available at: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5ffa1f96d3bf7f65d9e35825/cycle-infrastructure-design-ltn-1-20.pdf> (accessed: 25.02.2025).

19. Cycle to Work Scheme Guidance for Employers // Document of the UK Department for Transport, June 2019. Available at: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5dc9475440f0b64251080457/cycle-to-work-guidance.pdf> (accessed: 25.02.2025).

20. Gear Change. A bold vision for cycling and walking // Document of the UK Department for Transport, 2020. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/904146/gear-change-a-bold-vision-for-cycling-and-walking.pdf (accessed: 25.02.2025).

21. Piano Generale della Mobilità Ciclistica urbana e extraurbana [General Plan for Urban and Extra-urban Cycling Mobility] // Document of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport, 1 August 2022. Available at: <https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-08/Pg%20Mobilit%C3%A0%20Ciclista%20e%20allegati.pdf> (accessed: 25.02.2025).

22. Transformative Projects (electronic project database) // People for bikes // 23 February 2025. Available at: <https://infrastructure.peopleforbikes.org/project-list/> (accessed: 25.02.2025).

23. Zhankaziyev, S. V. Kontseptsiya metodiki povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet predostavleniya bezopasnogo marshruta pol'zovatelyam sredstv individual'noy mobil'nosti / S. V. Zhankaziyev, M. N. Vrazhnova, A. A. Pashkova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2023. – № 1-1(80). – S. 43-49. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49. – EDN VJYJSF. [Zhankaziev, S. V. Concept of a Methodology for Improving Road Safety by Providing Safe Routes to Users of Personal Mobility Devices / S. V. Zhankaziev, M. N. Vrazhnova, A. A. Pashkova // World of Transport and Technological Machines. – 2023. – № 1-1(80). – P. 43-49. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-43-49. – EDN VJYJSF.]

Статья получена 18.01.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Жанказиев Султан Владимирович

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Организация
и безопасность движения, интеллектуальные
транспортные системы» ФГБОУ ВО МАДИ,
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет» (МАДИ),
125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64
ORCID: 0000-0001-9833-9376
E-mail: sultanv@mail.ru

Гаврилюк Максим Викторович

старший преподаватель кафедры «Организация
и безопасность движения, интеллектуальные
транспортные системы» ФГБОУ ВО МАДИ
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет» (МАДИ)
125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64,
E-mail: poligonmadi@gmail.com

Меркович Александр Михайлович

ассистент кафедры «Организация
и безопасность движения, интеллектуальные
транспортные системы» ФГБОУ ВО МАДИ
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет» (МАДИ)
125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64,
E-mail: amerkovich@hotmail.com

Information about the authors

Zhankaziev Sultan Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of the Department of «Traffic Organization
and Safety, Intelligent Transport Systems» at
Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education MADI.
Address: Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education «Moscow
Automobile and Road Construction State
Technical University» (MADI),
125319, Moscow, Leningradsky Prospekt
ORCID: 0000-0001-9833-9376
E-mail: sultanv@mail.ru

Gavrilyuk Maxim Viktorovich

Senior Lecturer of the Department of «Traffic
Organization and Safety, Intelligent Transport
Systems» at Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education MADI.
Address: Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education «Moscow
Automobile and Road Construction State
Technical University» (MADI)
125319, Moscow, Leningradsky Prospekt 64
E-mail: poligonmadi@gmail.com

Merkovich Alexander Mikhailovich

Teaching Assistant of the Department of «Traffic
Organization and Safety, Intelligent Transport
Systems» Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education MADI
Address: Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education «Moscow
Automobile and Road Construction State
Technical University» (MADI) 125319, Moscow,
Leningradsky Prospekt 64
E-mail: amerkovich@hotmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЛЕГКОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

В. С. Федоров

Д. Р. Асмаловский

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)

Аннотация. В статье рассматривается методология и планирование эксперимента для оценки огнестойкости сжатых элементов, изготовленных из легкого высокопрочного бетона для применения в зданиях и сооружениях транспортного комплекса. Легкий высокопрочный бетон представляет собой инновационный строительный материал, который сочетает в себе высокую прочность и низкую плотность, что делает его крайне перспективным для использования в большепролетных балках. Однако его поведение в условиях пожара при резкорегимном воздействии высокой температуры не изучено. В статье описываются ключевые аспекты планирования эксперимента, включая выбор методов испытаний, подготовку образцов, определение параметров нагрузки и температурного режима. Особое внимание уделяется методам измерения и анализа данных, которые позволяют оценить изменения механических свойств материала при воздействии огня. Результаты исследования имеют важное значение для разработки нормативных документов и стандартов, а также для повышения безопасности строительных конструкций в условиях пожара.

Ключевые слова: легкий высокопрочный бетон, огнестойкость, сжатые элементы, механические свойства, пожарная безопасность, температурный режим.

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE OF COMPRESSED ELEMENTS MADE OF LIGHTWEIGHT HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR BUILDINGS AND STRUCTURES OF A TRANSPORT COMPLEX

V. S. Fedorov

D. R. Asmalovsky

Russian University of Transport RUT (MIIT)

Abstract. This paper deals with the methodology and experiment planning to evaluate the fire resistance of compressed members made of lightweight high-strength concrete. Lightweight high-strength concrete is an innovative construction material that combines high strength and low density, which makes it extremely promising for use in various structures. However, its behavior when exposed to high temperatures remains poorly understood. The paper describes key aspects of experiment planning, including the selection of test methods, specimen preparation, and determination of loading and temperature parameters. Particular attention is paid to the methods of measurement and data analysis, which allow estimation of changes in the mechanical properties of the material when exposed to fire. The results of the study have important implications for the development of regulations and standards, as well as for improving the safety of building structures under fire conditions.

Keywords: lightweight high-strength concrete, fire resistance, compressed elements, mechanical properties, fire safety, temperature conditions.

Введение

В последние десятилетия строительная индустрия транспортного назначения активно ищет новые материалы, которые могут сочетать в себе высокие механические характеристики и экономическую эффективность. Одним из таких материалов является легкий высокопрочный бетон (ЛВБ), который благодаря своей низкой плотности (1700–2000 кг/м³) и высокой прочности 60–70 кН/м² становится широко востребованным в строительстве. ЛВБ обладает рядом преимуществ: легкий вес элементов обеспечивает снижение нагрузки на фундамент; улучшение теплоизоляционных свойств и уменьшение затрат на транспортировку и монтаж.

Приведем некоторые примеры применения легких высокопрочных бетонов в транспортном строительстве.

Строительство вестибюлей и перрона станции метрополитена «Горьковская» Нижегородского метрополитена. Впервые в России при возведении подземного сооружения тоннельного типа был применен самоуплотняющийся бетон, что позволило возвести стены, колонны и перекрытия перрона и вестибюлей [1].

Строительство мостового перехода через пролив Босфор Восточный во Владивостоке на остров Русский. Например, ростверк пилона № 7 был сооружен из самоуплотняющегося бетона; по результатам испытаний конструкция достигла необходимых значений прочности, сплошность была полностью обеспечена и отмечено значительное снижение трудозатрат.

Реконструкция моста в Японии. В связи с ростом автомобильного трафика реконструировали мост с целью снижения нагрузки на металлические конструкции. Для этого использовали дорожные плиты с удельной прочностью 27,1–30,3 МПа (средняя плотность 1810–1850 кг/м³) [1].

Однако, несмотря на многочисленные преимущества, вопрос огнестойкости ЛВБ остается открытым. Поведение этого материала при воздействии высоких температур, особенно в условиях пожара, требует тщательного изучения [2, 3].

Объекты транспортной инфраструктуры — это технологический комплекс, включающий в себя железнодорожные вокзалы и станции, автовокзалы и автостанции, аэропорты, тоннели, эстакады, мосты, морские терминалы, а также здания, строения и сооружения, обеспечивающие управление транспортным комплексом, его функционирование.

Согласно Федеральному закону «О транспортной безопасности» № 16-ФЗ обязательным

является оценка уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств — определение степени защищенности объектов транспортной инфраструктуры.

Федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» № 384-ФЗ определяются минимально необходимые требования к зданиям, сооружениям, в том числе требования пожарной безопасности.

Пожар — это неконтролируемое горение, а химия процесса — экзотермическая реакция окисления горючего вещества. Пожар является поистине страшным бедствием, приносящим огромные убытки, разрушения и человеческие жертвы*. Ущерб возникает вследствие воздействия на людей, материальные ценности и конструкции зданий опасных факторов пожара. К опасным факторам пожара, воздействие которых приводит к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу, относятся: пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму, а также сопутствующие проявления опасных факторов (осколки и части разрушившихся зданий, воздействие огнетушащих веществ и др.).

Согласно пожарно-технической классификации, все строительные материалы, конструкции, помещения и здания подразделяются по двум свойствам: пожарная опасность — свойство, способствующее возникновению опасных факторов пожара и его развитию; огнестойкость — свойство сопротивляемости воздействию пожара.

Огнестойкость является **базовым элементом противопожарной защиты** и регламентирует применение остальных мероприятий. Огнестойкость здания определяется огнестойкостью конструкций его составляющих. **Огнестойкость строительных конструкций** — это способность конструкции сохранять свои несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара. Показателем огнестойкости конструкции является **предел огнестойкости**, который является основным критерием сопротивляемости конструкции при пожаре. **Предел огнестойкости конструкции** — это промежуток времени от начала огневого воздействия по стандартному температурному режиму до наступления для данной конструкции одного из предельных состояний [4–6].

Огнестойкость строительных материалов является критически важным параметром, вли-

яющим на безопасность зданий и конструкций. В условиях пожара материалы подвергаются значительным термическим нагрузкам, что может привести к их разрушению и, как следствие, к обрушению конструкций.

Бетон обычно превосходит другие строительные материалы по своей огнестойкости [7]. Эта высокая огнестойкость обусловлена его компонентами, такими как цемент и агрегаты, которые при химическом соединении образуют материал, который в основном инертен и обладает низкой теплопроводностью, высокой теплоемкостью и медленным снижением прочности с ростом температуры. Эти свойства позволяют бетону эффективно защищать от огня как между смежными пространствами, так и самого себя от повреждений. Изменение свойств бетона под воздействием температуры гораздо сложнее, чем у армирующей стали, из-за миграции влаги, а также значительного разнообразия ингредиентов в различных типах бетона.

Поведение бетона при повышенных температурах зависит от тепловых, механических и деформационных свойств бетона. Подобно другим материалам, теплофизические, механические и деформационные свойства бетона значительно изменяются в диапазоне температур, связанных с пожарами в зданиях. Эти изменения зависят от температуры и состава бетонной смеси. Прочность бетона оказывает значительное влияние на его свойства как при комнатной температуре, так и при высоких температурах [8].

На практике огнестойкость конструктивных элементов ранее оценивалась в основном через стандартные огневые испытания [9]. В последние годы, однако, численные методы расчета огнестойкости конструктивных элементов становятся все более популярными, так как они менее затратны и трудоемки [10]. При воздействии определенной температурно-временной экспозиции во время пожара эта экспозиция вызывает предсказуемое распределение температуры в элементе. Повышенные температуры приводят к деформациям и изменениям свойств в составных материалах конструктивного элемента. Зная эти деформации и изменения свойств, можно применять обычные методы строительной механики для прогнозирования огнестойкости конструктивного элемента. Наличие свойств материалов при повышенных

Методика испытаний

Важной особенностью тяжелого высокопрочного бетона является более интенсивное снижение прочности по сравнению с обычным бетоном. Причиной этого является более

температурах позволяет использовать математический подход для прогнозирования огнестойкости конструктивных элементов [11–13].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки методов и стандартов для оценки огнестойкости ЛВБ, что позволит обеспечить безопасность строительных объектов и минимизировать риски в случае пожара. В настоящее время отсутствуют экспериментальные данные, которые позволили бы построить расчетные модели термосилового сопротивления и аналитически точно оценить поведение ЛВБ при высокотемпературном воздействии. Это делает необходимым проведение комплексных исследований, включающих планирование и выполнение экспериментов по оценке огнестойкости сжатых элементов из ЛВБ.

В статье представлены основные положения программы планируемого эксперимента.

Объект исследований: сжатые элементы, изготовленные из высокопрочного легкого бетона.

Предмет исследований: огнестойкость сжатых элементов, изготовленных из высокопрочного легкого бетона. Огнестойкость сжатых элементов, модуль упругости, деформативность и прочность высокопрочного легкого бетона.

Научная гипотеза: использование легких высокопрочных бетонов в железобетонных элементах позволит повысить их сопротивляемость при пожаре по сравнению с тяжелым высокопрочным бетоном.

Цель исследования: определение прочностных и деформативных характеристик рассматриваемого состава легкого высокопрочного бетона при нагреве, необходимых для расчета огнестойкости конструкций на его основе.

Задачи экспериментальных исследований:

- 1) получить исходные экспериментальные зависимости, в результате обработки которых будут определены числовые значения температурных параметров, характеризующих изменения прочности и деформативности данного состава легкого высокопрочного бетона при нагреве;
- 2) оценить влияние последовательности приложения теплового и силового воздействий на получаемые результаты;
- 3) установить факторы, требующие более детального анализа в перспективе.

плотная структура высокопрочного бетона, препятствующая миграции влаги при нагреве, вследствие чего повышается поровое давление, повреждающее структуру. Есть гипотеза, что

в случае легкого высокопрочного бетона из-за более высокой пористости этого происходить не будет.

Гипотезу предлагается проверить экспериментально. Для подтверждения гипотезы будет использовано 16 призм (рис. 1), эксперименты будут разбиты на четыре серии. Опытные образ-

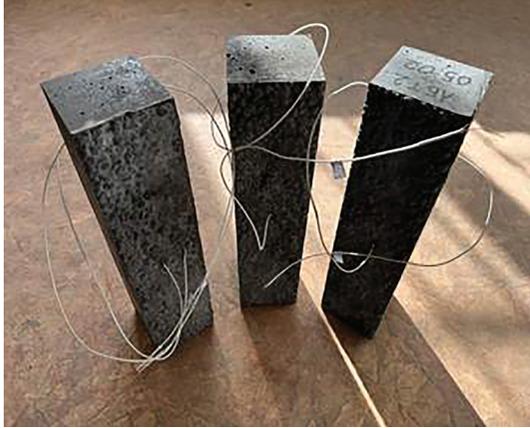


Рис. 1. Призма из легкого высокопрочного бетона под прессом при испытании на сжатие

цы: призмы размером 10x10x40 см, изготовленные из рассматриваемого состава легкого высокопрочного бетона естественной влажности с плотностью 1700–1800 кг/м³ и с ожидаемой прочностью на сжатие 60–65 МПа (рис. 2). Для контроля температуры образцы оснащены термопарами типа ТПК 011–05/1 (рис. 3).



Рис. 2. Призмы 100x100x400 из легкого высокопрочного бетона с встроенными термопарами ТПК 011–05/1



Рис. 3. Термопара ТПК 011–05/1

После 28 суток выдержки образцов в стандартных условиях будут проводиться испытания на сжатие при нормальных условиях для определения начальных механических характеристик, а также испытания на сжатие при высоких температурах. После проведения испытаний будут ожидать следующие результаты: кривые развития деформаций при заданных режимах при температурных и силовых воздействиях вплоть до разрушения.

Первая серия испытаний будет проводиться при нормальной температуре для двух образцов, чтобы оценить среднюю разрушающую нагрузку, при которой будет рассчитываться уровень нагружения последующих образцов.

При нестационарном нагреве под нагрузкой будет испытано пять призм при уровнях нагружения 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 от разрушающей

при нормальной температуре и одна призма без нагрузки для определения свободных температурных деформаций. Предполагается, что у призмы с уровнем нагружения 0,8 произойдет взрывообразное разрушение уже на начальных этапах нагрева по причине давления пара.

Для оценки влияния приложенной нагрузки вторую серию призм необходимо испытать при нагружении после нагрева до требуемой температуры в ненагруженном состоянии: один образец в интервале 250–450 градусов (стадия восстановления прочности), второй — выше 450 градусов (стадия необратимого снижения прочности). Для получения нисходящей ветви после пика диаграммы испытание следует вести с контролируемой скоростью деформации. Кроме того, для оценки модуля упругости нагретого бетона при испытании желательна ветвь разгрузки.

Испытания третьей серии (два образца) будут повторять вторую серию с той лишь разницей, что нагрев до требуемой температуры будет проводиться под нагрузкой небольшого уровня (0,2–0,3) с последующей разгрузкой и нагружением с контролируемой скоростью деформации до разрушения. Предполагается, что образцы покажут более высокий модуль упругости (выше не менее чем на 30%) и более

высокую прочность по сравнению с образцами, нагревавшимися без нагрузки.

На рис. 4 и 5 представлено, как изменяется прочность при повышении температур на сжатие у обычного и высокопрочного бетона соответственно. В ходе экспериментов, запланированных по разработанной методике, будут получены аналогичные графики для образцов.

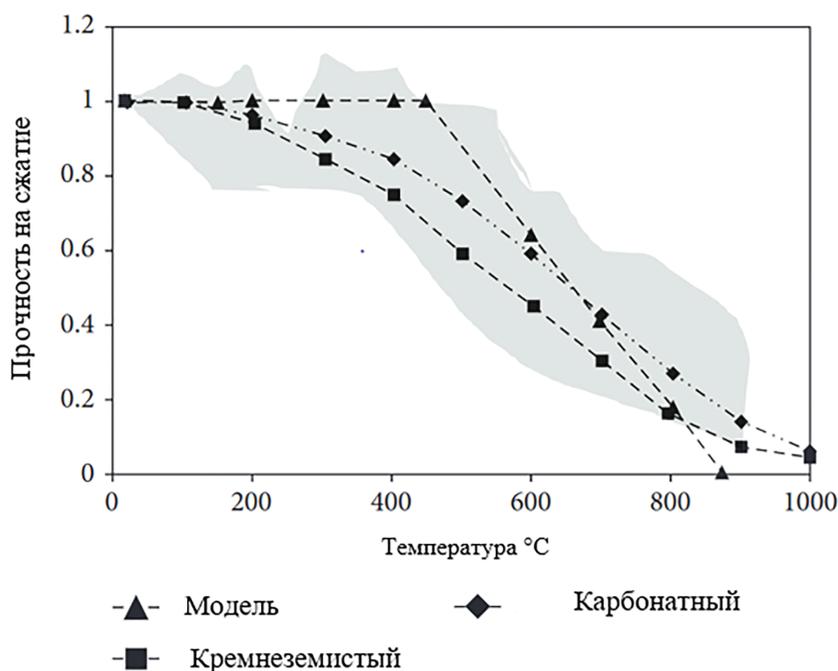


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие при повышенных температурах обычного бетона

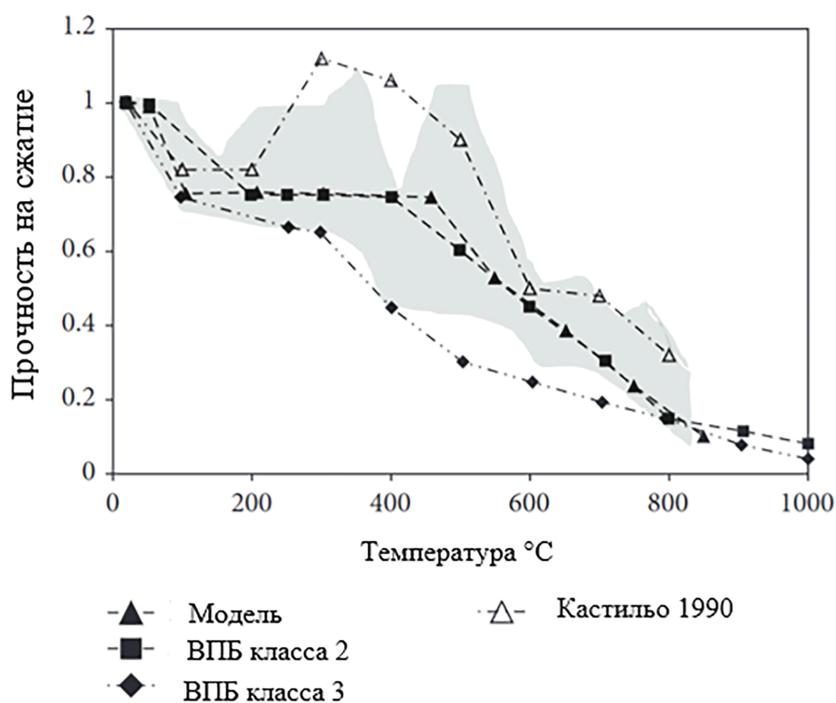


Рис. 5. Зависимость прочности на сжатие при повышенных температурах высокопрочного бетона

Эксперимент будет проводиться на лабораторной рычажной установке, основная часть которой

состоит из силовой сплошной металлической рамы, укрепленной на фундаменте (рис. 6).

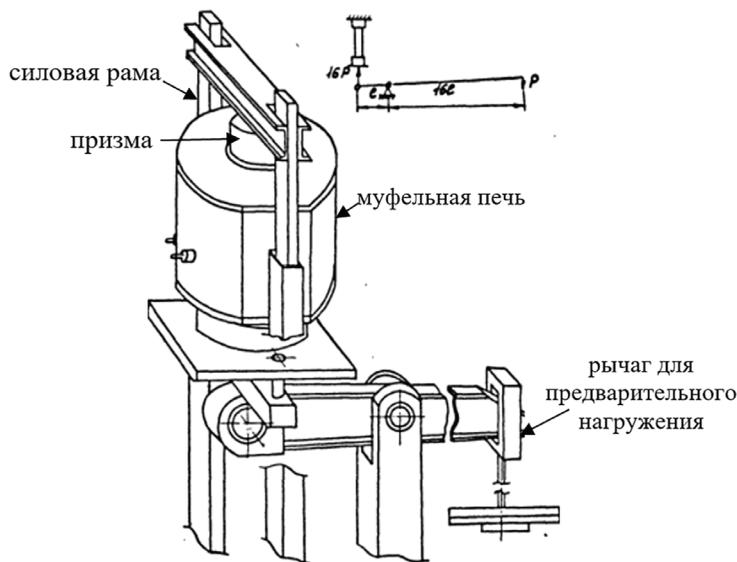


Рис. 6. Общий вид установки

При дальнейших исследованиях будут изготовлены и испытаны при тех же режимах образцы из тяжелого бетона, что позволит сравнить механические и деформационные свойства ЛВБ и тяжелого бетона при повышенных температурах.

Научную новизну работы составляют:

- экспериментальные данные по огнестойкости, модулю упругости и прочности легких

высокопрочных бетонов;

- экспериментальные данные по огнестойкости железобетонных колонн, изготовленных из легких высокопрочных бетонов;

- углубленное изучение и систематизация данных об огнестойкости и надежности нового строительного материала — легкого высокопрочного бетона, применяемого в ответственных конструкциях, таких как сжатые элементы.

Вывод

В ходе выполненной работы разработана программа экспериментальных исследований для оценки огнестойкости сжатых элементов из легкого высокопрочного бетона.

В дальнейшем при проведении экспериментов по разработанной программе исследований будут получены актуальные данные о поведении легкого высокопрочного бетона при повышенных температурах, определена огнестойкость,

а также сведения об изменении свойств бетона.

Анализ ранее проведенных испытаний легкого высокопрочного бетона показывает, что полученные результаты по разработанной программе проведения испытаний позволят разработать нормативные документы и стандарты, что обеспечит повышение безопасности строительных конструкций зданий и сооружений в условиях пожара [14–20].

Список литературы

1. Варакин М. Ю. Особенности применения современных видов бетона в транспортном строительстве / М. Ю. Варакин, И. Г. Овчинников // Транспортные сооружения. — 2020. — Т. 7. — № 2. — С. 19. — DOI 10.15862/22SATS220. — EDN NVKHEG.

2. Fedorov V. S., Levitsky V. E. Modeling of concrete thermal power resistance during the

high-temperature heating // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Novosibirsk, 2018. С. 012041.

3. Федоров В. С., Левитский В. Е. Эффект повышения деформативности бетона в условиях кратковременного нестационарного нагрева под нагрузкой // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитек-

туры и строительных наук, 2005. — С. 125–129.

4. Buchanan A. H. *Structural design for fire safety*, 2002.

5. Purkiss J. A. *Fire safety engineering design of structures* // Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2007.

6. Kodur V. R. and Raut N. Performance of concrete structures under fire hazard: emerging trends // *The Indian Concrete Journal*, 2010. Vol. 84 (2). — P. 23–31.

7. Venkatesh Kodur. *Properties of Concrete at Elevated Temperatures*, 2014.

8. *Standard test methods for fire tests of building construction and materials*, 2008.

9. “Fire design of concrete structures — materials, structures and modelling”, 2007.

10. Kodur V. K. R., Wang T. C., and Cheng F. P. Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns // *Cement and Concrete Composites*, 2004. — Vol. 26 (2). — P. 141–153.

11. Kodur V., M. Dwaikat, and N. Raut. Macroscopic FE model for tracing the fire response of reinforced concrete structures // *Engineering Structures*, 2009. — Vol. 31 (10). — P. 2368–2379.

12. Fedorov V. S., Levitsky V. E., Isaeva E. A. Basic principles in the theory of force and thermal force resistance of concrete. // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2022. — Т. 18. — № 6. — С. 584–596.

13. Левитский В. Е. Деформативные характеристики нагруженного бетона при нестационарном нагреве // *Строительство и реконструкция*. — 2024. № 1 (111). — С. 64–77.

14. Король О. А. Экспериментальные исследования трехслойных стеновых панелей с наружными слоями из конструкционного бетона и средним слоем из бетона низкой теплопроводности / О. А. Король, Е. Н. Дегаев // *Строительство и архитектура*. — 2023. — Т. 11. — № 4. — С. 5. — DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-4-5-5. — EDN LMXBIR.

15. Сугрова В. Е. Современные методы конструктивной огнезащиты зданий транспортной инфраструктуры / В. Е. Сугрова, П. А. Матвиенко // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всероссийской конференции с международным участием*. Москва, 23–24 ноября 2017 года. — М.: Перо, 2017. — С. 70–75. — EDN VPGJYI.

16. *Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всероссийской научно-практической конференции*, Санкт-Петербург, 18 апреля 2024 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, 2024. — EDN NANKOW.

17. Кружнова А. А. Анализ причин и последствий отказов с использованием FMEA-методологии при производстве железобетонных конструкций // *Студенческий форум*. — 2021. — № 16–1 (152). — С. 34–35. — EDN BOJTDA.

18. Патент № 2809739 С1 Российская Федерация, МПК В01J 2/02. Способ электростатической грануляции сероцемента: № 2023112438: заявл. 11.05.2023: опубл. 15.12.2023 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина; заявитель: Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. — EDN TSFRDA.

19. Федоров В. С. Комплексная модель управления обеспечением пожарной безопасности высотных зданий / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, А. С. Реснянская // *Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки*. Астрахань, 08–09 февраля 2023 года / Под общ. ред. Т. В. Золиной. — Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. — С. 14–25. — EDN SFLRPB.

20. Купчикова Н. В. Причины длительных деформаций бетона сооружений в природных климатических условиях юга России / Н. В. Купчикова, В. Н. Ланг // *Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы VI Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки*, Астрахань, 08–09 февраля 2023 года / Под общ. ред. Т. В. Золиной. — Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. — С. 265–273. — EDN LBJPRS.

References

1. Varakin, M. Yu. Osobennosti primeneniya sovremennykh vidov betona v transportnom stroitel'stve / M. Yu. Varakin, I. G. Ovchinnikov // *Transportnyye sooruzheniya*. – 2020. – T. 7, № 2. – S. 19. – DOI 10.15862/22SATS220. – EDN NVKHEG. [Varakin, M. Yu. Features of Modern Concrete Types Application in Transport Construction / M. Yu. Varakin, I. G. Ovchinnikov // *Transport Structures*. – 2020. – Vol. 7, № 2. – P. 19. – DOI 10.15862/22SATS220. – EDN NVKHEG.]
2. Fedorov V.S., Levitsky V.E. Modeling of concrete thermal power resistance during the high-temperature heating // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Novosibirsk, 2018. p. 012041.
3. Fedorov V.S., Levitskiy V.E. Effekt povysheniya deformativnosti betona v usloviyakh kratkovremennogo nestatsionarnogo nagreva pod nagruzkoj // *Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*, 2005. s. 125-129. [Fedorov V.S., Levitsky V.E. Effect of Increasing Concrete Deformability Under Short-Term Non-Stationary Heating Under Load // *Bulletin of the Central Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences*, 2005. pp. 125-129.]
4. Buchanan A.H. *Structural design for fire safety*, 2002.
5. Purkiss J.A. *Fire safety engineering design of structures* // Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2007.
6. Kodur V.R. and Raut N. Performance of concrete structures under fire hazard: emerging trends // *The Indian Concrete Journal*, 2010. Vol. 84(2). - pp. 23–31.
7. Kodur Venkatesh. *Properties of Concrete at Elevated Temperatures*, 2014.
8. *Standard test methods for fire tests of building construction and materials*, 2008.
9. *Fire design of concrete structures—materials, structures and modelling*, 2007.
10. Kodur V.K.R., Wang T.C., and Cheng F.P. Predicting the fire resistance behaviour of high strength concrete columns. // *Cement and Concrete Composites*, 2004. Vol. 26(2). - pp. 141–153.
11. Kodur V., Dwaikat M., and Raut N. Macroscopic FE model for tracing the fire response of reinforced concrete structures. // *Engineering Structures*, 2009. Vol. 31(10). - pp. 2368–2379.
12. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Isaeva E.A. Basic principles in the theory of force and thermal force resistance of concrete. // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2022. Vol. 18. № 6. pp. 584-596.
13. Levitskiy V.E. Deformativnyye kharakteristiki nagruzhennogo betona pri nestatsionarnom nagreve. // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2024. №1 (111). s. 64-77. [Levitsky V.E. Deformation Characteristics of Loaded Concrete Under Non-Stationary Heating. // *Construction and Reconstruction*, 2024. №1 (111). p. 64-77.]
14. Korol', O. A. Eksperimental'nyye issledovaniya trekhslonnykh stenovykh paneley s naruzhnymi sloyami iz konstruksionnogo betona i srednim sloyem iz betona nizkoy teploprovodnosti / O. A. Korol', E. N. Degayev // *Stroitel'stvo i arkhitektura*. – 2023. – T. 11, № 4. – S. 5. – DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-4-5-5. – EDN LMXBIR. [Korol, O. A. Experimental Studies of Three-Layer Wall Panels with Structural Concrete Outer Layers and Low Thermal Conductivity Concrete Middle Layer / O. A. Korol, E. N. Degaev // *Construction and Architecture*. – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 5. – DOI 10.29039/2308-0191-2023-11-4-5-5. – EDN LMXBIR.]
15. Sugrova, V. E. Sovremennyye metody konstruktivnoy ognezashchity zdaniy transportnoy infrastruktury / V. E. Sugrova, P. A. Matviyenko // *Sovremennoye sostoyaniye, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoy nauki: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Moskva, 23–24 noyabrya 2017 goda*. – Moskva: Izdatel'stvo «Pero», 2017. – S. 70-75. – EDN VPGJYI. [Sugrova, V. E. Modern Methods of Structural Fire Protection for Transport Infrastructure Buildings / V. E. Sugrova, P. A. Matvienko // *Current State, Problems and Prospects for Industry Science Development: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation, Moscow, November 23-24, 2017*. – Moscow: «Pero» Publishing House, 2017. – P. 70-75. – EDN VPGJYI.]
16. *Pozharnaya bezopasnost': sovremennyye vyzovy. Problemy i puti resheniya: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Sankt-Peterburg, 18 aprelya 2024 goda. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy universitet gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii im. Geroya Rossiyskoy Federatsii generala armii E.N. Zinicheva, 2024. – 142 s. – ISBN 978-5-907724-81-5. – EDN NAHKOW. [Fire Safety: Modern Challenges. Problems and Solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, April 18, 2024. – St. Petersburg: St. Petersburg University

of State Fire Service of EMERCOM of Russia named after Hero of the Russian Federation Army General E.N. Zinichev, 2024. – 142 p. – ISBN 978-5-907724-81-5. – EDN NAHKOW.]

17. Kruzhnova, A. A. Analiz prichin i posledstviy otkazov s ispol'zovaniyem FMEA-metodologii pri proizvodstve zhelezobetonnykh konstruktsiy / A. A. Kruzhnova // Studencheskiy forum. – 2021. – № 16-1(152). – S. 34-35. – EDN BOJTDA. [Kruzhnova, A. A. Analysis of Failure Causes and Consequences Using FMEA Methodology in Reinforced Concrete Structures Production / A. A. Kruzhnova // Student Forum. – 2021. – № 16-1(152). – P. 34-35. – EDN BOJTDA.]

18. Patent № 2809739 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B01J 2/02. Sposob elektrostatischey granulyatsii serotsementa : № 2023112438 : zayavl. 11.05.2023 : opubl. 15.12.2023 / N. V. Kupchikova, R. I. Shayakhmedov, T. V. Zolina ; zayavitel' Gosudarstvennoye avtonomnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye Astrakhanskoy oblasti vysshego obrazovaniya Astrakhanskiy Gosudarstvennyy Arkhitekturno-Stroitel'nyy Universitet. – EDN TSFRDA. [Patent № 2809739 C1 Russian Federation, IPC B01J 2/02. Method for Electrostatic Granulation of Sulfur Cement : № 2023112438 : filed 11.05.2023 : publ. 15.12.2023 / N. V. Kupchikova, R. I. Shayakhmedov, T. V. Zolina ; applicant State Autonomous Educational Institution of Higher Education Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan Region. – EDN TSFRDA.]

19. Fedorov, V. S. Kompleksnaya model' upravleniya obespecheniyem pozharnoy bezopasnosti vysoznykh zdaniy / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova, A. S. Resnyanskaya // Innovatsionnoye razvitiye regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya : Materialy VI Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, priurochennoy ko Dnyu rossiyskoy nauki, Astrakhan', 08–09 fevralya

2023 goda / Pod obshchey redaktsiyey T.V. Zolinoy. – Astrakhan': Astrakhanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 2023. – S. 14-25. – EDN SFLRPB. [Fedorov, V. S. Comprehensive Management Model for Fire Safety Provision in High-Rise Buildings / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova, A. S. Resnyanskaya // Innovative Regional Development: Potential of Science and Modern Education: Proceedings of the VI National Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to Russian Science Day, Astrakhan, February 08-09, 2023 / Under general editorship of T.V. Zolina. – Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2023. – P. 14-25. – EDN SFLRPB.]

20. Kupchikova, N. V. Prichiny dlitel'nykh deformatsiy betona sooruzheniy v prirodnykh klimaticheskikh usloviyakh yuga Rossii / N. V. Kupchikova, V. N. Lang // Innovatsionnoye razvitiye regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya : Materialy VI Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, priurochennoy ko Dnyu rossiyskoy nauki, Astrakhan', 08–09 fevralya 2023 goda / Pod obshchey redaktsiyey T.V. Zolinoy. – Astrakhan': Astrakhanskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet, 2023. – S. 265-273. – EDN LBJPRS. [Kupchikova, N. V. Causes of Long-Term Concrete Deformations in Structures Under Natural Climatic Conditions of Southern Russia / N. V. Kupchikova, V. N. Lang // Innovative Regional Development: Potential of Science and Modern Education: Proceedings of the VI National Scientific and Practical Conference with International Participation, Dedicated to Russian Science Day, Astrakhan, February 08-09, 2023 / Under general editorship of T.V. Zolina. – Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2023. – P. 265-273. – EDN LBJPRS.]

Статья получена 24.01.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Федоров Виктор Сергеевич

академик Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения».

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)

Адрес: РУТ МИИТ, 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

ORCID: 0000-0002-0906-716X

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Асмаловский Даниил Романович

аспирант кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения».

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)

Адрес: РУТ МИИТ, 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

ORCID: 0009-0007-8451-2503;

E-mail: dan.asmall2609@yandex.ru

Information about the authors

Fedorov Viktor Sergeevich

Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of «Building Structures, Buildings and Facilities».

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT MIIT)

Address: RUT MIIT, 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, building 9

ORCID: 0000-0002-0906-716X

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Asmalovsky Daniil Romanovich

PhD Student of the Department of «Building Structures, Buildings and Facilities».

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT MIIT)

Address: of RUT MIIT, 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, building 9

ORCID: 0009-0007-8451-2503

E-mail: dan.asmall2609@yandex.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАСЫПЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ СЛАБОГО ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ

Н. В. Купчикова

*ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ),
ГБУ «МосТрансПроект»*

Аннотация. Выполнен анализ современных тенденций обеспечения инженерной устойчивости при строительстве и реконструкции насыпей транспортной инфраструктуры с учетом слабого подстилающего слоя. Приведены результаты решения двух геотехнических задач для транспортных насыпей с учетом подстилающего слоя и без него. Выполнен расчет в ПК MIDAS GTS NX и численный анализ фильтрации, устойчивости и консолидации насыпи при реконструкции транспортных территорий, сложенной из трех слоев грунтового массива и дамбы, состоящей также из трех слоев с глинистым ядром и дренажом по правой части в нижнем бьефе и насыпи, ограниченной проектной устойчивостью подпорной стенки и от существующей застройки — шпунтом Ларсена.

Ключевые слова: насыпь, транспортная инфраструктура, реконструкция, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние, дренаж, слабый подстилающий слой, шпунт Ларсена, подпорная стенка, водонасыщенный грунт, устойчивость, откосы насыпи.

NUMERICAL MODELING OF EMBANKMENTS OF TRANSPORT STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THE WEAK UNDERLYING LAYER

N. V. Kupchikova

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian University of
Transport» (RUT MIIT), GBU Research Institute «MosTransProject»*

Abstract. The analysis of current trends in ensuring engineering stability during the construction and reconstruction of embankments of transport infrastructure, taking into account the weak underlying layer, is carried out. The results of solving two geotechnical problems for transport embankments with and without the underlying layer are presented. A calculation was performed in the MIDAS GTS NX PC and a numerical analysis of the filtration, stability and consolidation of the embankment during the reconstruction of transport territories, composed of three layers of a soil massif and a dam, which also consists of three layers with a clay core and drainage on the right side in the lower reaches and an embankment limited by the design stability of the retaining wall and from the existing building — sheet pile Larsen.

Keywords: embankment, transport infrastructure, reconstruction, numerical modeling, stress-strain state, drainage, weak underlying layer, Larsen sheet pile, retaining wall, saturated soil, stability, embankment slopes.

Введение

Транспортное строительство является одной из ключевых областей инженерной деятельности, обеспечивающей функционирование и развитие транспортной инфраструктуры. Важным элементом этой инфраструктуры являются насыпи, которые играют центральную роль в формировании устойчивых и безопасных транспортных путей. Реконструкция дорожно-

транспортной сети, в свою очередь, представляет собой сложный и многосторонний процесс, в котором насыпям отводится особое место. Они не только служат основой для дорожного покрытия, но и обеспечивают необходимую высоту и уклон, способствующие эффективному водоотведению и предотвращению разрушения дорожной конструкции.

Устойчивость грунтовых насыпей определяется напряженно-деформированным состоянием (НДС) и прочностью грунтов насыпи. Объемное состояние грунтового массива характеризуется прочностными и физико-механическими характеристиками — модулем деформируемости, удельным весом, удельным сцеплением и углом внутреннего трения.

Актуальность работы

При реконструкции транспортных насыпей важным аспектом их устойчивости является выбор методов возведения, который зависит от специфики местности, конструктивных требований и доступных технических средств. Основные элементы насыпи включают в себя центральную несущую часть, площадку для укладки верхнего строения и откосные части, которые обеспечивают стабильность всей конструкции [2]. Применение систем устойчивости, таких как фильтры, дренаж и укрепление откосов, также играет значимую роль в обеспечении долговечности насыпей.

Инженеры используют различные подходы для управления устойчивостью конструкции насыпей, включающие предварительное проектирование и моделирование, что позволяет прогнозировать поведение конструкции под ожидаемыми нагрузками. Часто используют методы компьютерного моделирования, чтобы определить оптимальную геометрию и материалы, необходимые для создания устойчивой насыпи [4]. Безопасность транспортных потоков может также быть обеспечена применением разных технологий

Метод

Для проектирования насыпей транспортных сооружений с учетом слабого подстилающего слоя используются следующие подходы:

- устройство защитных (разделительных и технологических) прослоек. Они исключают взаимопроникновение материала насыпи и грунта основания, улучшают условия отсыпки и уплотнения насыпи, сокращают потери материала;
- применение защитно-армирующих прослоек. Они снижают неравномерность осадки, а также помогают уменьшить толщину насыпного слоя низких насыпей;
- удаление верхней части слабой толщи. Это дает комплексный эффект: повышает прочность и ускоряет достижение заданной степени консолидации основания;
- использование вертикальных дренирующих элементов. Они ускоряют консолидацию грунтов слабого основания при обеспеченной устойчивости основания под нагрузкой от веса насыпи;

Насыпь в транспортном строительстве формируется из уплотненного грунта с целью создания основ для различных транспортных путей, таких как дороги, железнодорожные линии и каналы. Основная функция насыпей — сглаживание перепадов высот, что позволяет обеспечить беспрепятственное движение транспорта, минимизируя при этом влияние на естественный рельеф местности [1].

укладки и дренажа, что позволяет предотвратить водозабор и последующие деформации насыпи. Важным аспектом является контроль за водным режимом вокруг насыпей и в самой насыпи, что достигается за счет грамотного проектирования и строительства дренажных систем. Учитывая, что насыпь работает в условиях изменяющейся нагрузки и воздействий окружающей среды, регулярные проверки и реконструкция данных сооружений становятся необходимыми [5].

Важно отметить, что насыпные конструкции также могут столкнуться с рядом проблем, таких как эрозия откосов и просадки, наличие слабого подстилающего слоя. Применение различных защитных технологий, таких как укрепление откосов с помощью растительности или специальных ограждающих конструкций шпунтов, подпорных стенок, может значительно повысить срок службы насыпей и снизить необходимость частых реконструкций. Эти аспекты имеют важное значение, особенно в условиях изменения климата, когда погодные условия становятся все более непредсказуемыми [10–20].

– устройство временной пригрузки. Это ускоряет процесс консолидации грунтов слабого основания;

– сооружение «легких» насыпей из пеноматериалов для создания устойчивых и безосадочных насыпей.

Проектирование насыпей на слабых грунтах требует особого подхода и основано на геотехнических расчетах. Для назначения индивидуального или группового проектного решения необходимо участие геотехников.

Методика расчета устойчивости и осадки дорожной конструкции при реконструкции в сложных условиях

Порядок расчета устойчивости слабого основания сводится к следующему:

1) Определение расчетной нагрузки от веса грунта реконструируемой насыпи:

$$P_{расч} = \gamma_{ср} h_{нас}, \quad (1)$$

где γ_{cp} – средневзвешенная плотность грунта насыпи, г/см³; $h_{нас}$ – высота насыпи по оси с учетом существующей осадки, см.

При высоте насыпи менее 3 м дополнительно должна учитываться нагрузка от воздействия транспорта путем условного увеличения высоты насыпи, рассчитанной по методике.

2) Расчет безопасной нагрузки:

$$H_{без.н} = \frac{c_n + \gamma z t g \varphi_n}{\beta}, \quad (2)$$

где C_H – удельное сцепление слабого грунта в основании под существующей насыпью, МПа; φ_H – угол внутреннего трения, то же, град; γ – плотность грунта слабой толщи, г/см³; Z – глубина расположения середины расчетного слоя в основании насыпи, см; γ – плотность грунта расчетного слоя, г/см³; β – коэффициент, величина которого определяется по графикам.

Значения показателей механических свойств слабых грунтов основания определяют по результатам опытов с полной консолидацией образцов или инженерно-геологических изысканий реконструкции дороги под существующей насыпью.

3) Из величин $P_{без}$, рассчитанных по формуле для нескольких расчетных слоев, устанавливается минимальное значение $P_{без.мин}$ с целью оценки общей устойчивости слабого основания под нагрузкой от веса реконструируемой насыпи с уширением.

4) Условия устойчивости оцениваются для наиболее опасного горизонта в слабом основании, на котором действует наибольшая расчетная нагрузка, а грунт обладает минимальными прочностными свойствами, по формуле:

$$K_{без} = \frac{P_{без.мин}}{P_{расч}}, \quad (3)$$

где $P_{без}$ – безопасная нагрузка на основание, МПа; $P_{расч}$ – нагрузка от веса реконструируемой насыпи, МПа.

5) При $K_{без} \geq 1$ устойчивость основания реконструируемой насыпи обеспечена. При $K_{без} < 1$ устойчивость основания не обеспечена. Для обеспечения устойчивости насыпи необходимо назначить дополнительные конструктивно-технологические мероприятия.

Порядок расчета осадки слабого основания

сводится к следующему:

1) Для условий одномерного сжатия, а именно при соотношении мощности толщи к ширине

подошвы — $\frac{H}{2b} \leq 0,5$, конечная осадка слабого грунта рассчитывается в пределах активной зоны сжатия при уплотнении под нагрузкой от веса грунта уширения и от транспорта методом послойного суммирования по формуле:

$$S = 0,001 \sum_{i=1}^n e_{pz_i} H_i, \quad (4)$$

где e_{pz_i} – модуль осадки грунта основания, определенный по компрессионной кривой образца, с горизонта z_i , соответствующий расчетной нагрузке $P_{расч}$, мм/м; n – число расчетных слоев; H_i – мощность расчетного слоя, м.

Нагрузка от транспортных средств, приведенная к эквивалентному слою грунта земляного полотна, определяется в соответствии с ГОСТ Р 52748.

2) Для условий двухмерного сжатия при соотношении

$\frac{H}{2b} > 0,5$ в качестве характеристики сжимаемости используется штамповый модуль, который определяется по результатам компрессионных испытаний и рассчитывается конечная осадка по формуле:

$$S = \frac{PH}{E_{ум}^{cp}}, \quad (5)$$

где P – нагрузка от веса грунта реконструируемой насыпи, МПа; H – мощность сжимаемой толщи, см; $E_{ум}^{cp}$ – средневзвешенный штамповый модуль деформации слабого основания, МПа, который определяется по формуле:

$$E_{ум}^{cp} = \frac{\sum H_i}{\sum E_{ум.i}}, \quad (6)$$

где H_i и $E_{ум.i}$ – мощность и штамповый модуль деформации i -го слоя. Штамповый модуль деформации грунта слабого слоя рассчитывается по формуле:

$$E_{ум.i} = \frac{E_i}{1 - \mu}, \quad (7)$$

где E_i – модуль деформации, определенный по результатам компрессионных испытаний по ГОСТ Р 54477, МПа; μ – коэффициент бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона): супесь — 0,30; суглинок — 0,35; глина — 0,42.

Расчет и результаты численного анализа

На первом этапе проведем исследования по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) в расчете фильтрации, устойчивости и консолидации грунтовой насыпи с наличием слабого подстилающего слоя и без него при реконструкции транспортных территорий. На втором этапе проанализируем те же параметры, но для насыпи, ограниченной проектной устойчивостью тонкой подпорной стенки и от существующей застройки — шпунтом Ларсена.

Расчет производится в программном комплексе MIDAS GTS NX. В задачах использовали такие способы учета слабого подстилающего слоя, как удаление верхней части слабой толщи и использование дренирующих элементов.

Исходные данные — для насыпи из трех слоев грунтового массива и дамбы, состоящей также из трех слоев с глинистым ядром и дренажом по правой части в нижнем бьефе — представлены на рис. 1.

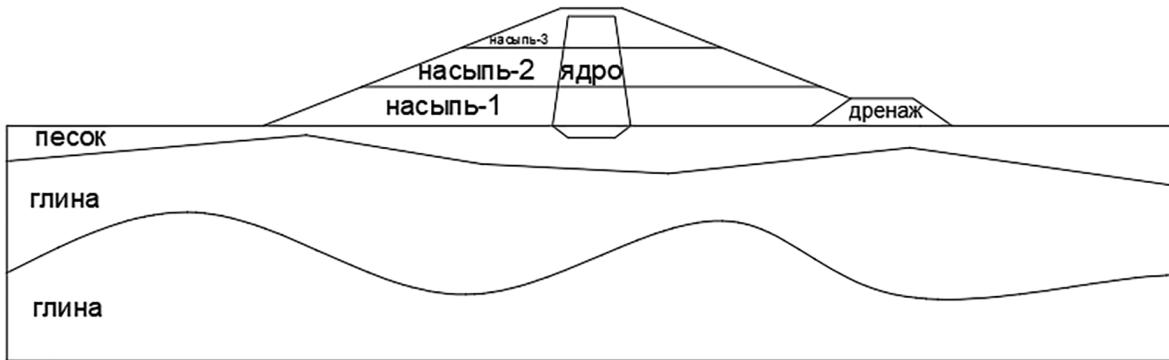


Рис. 1. Исходные данные для численного анализа

Свойства грунтов, залегающих под основанием в модели Mohr-Coulomb, приведены в табл. 1.

Таблица 1

№	Название	Модуль деформаций	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта в естественном состоянии	Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации (x, y, z)			Сцепление	Угол внутреннего трения
1	Насыпной грунт	25000	0,3	20	21	0,6	1,16E-05	1,16E-05	1,16E-05	2	27
2	Ядро	35000	0,35	18	19	0,45	1,16E-10	1,16E-10	1,16E-10	26	32
3	Дренаж	20000	0,3	20	21	0,5	0,001157	0,001157	0,001157	1	35
4	Основание 1	33000	0,3	20	21	0,65	5,79E-06	5,79E-06	5,79E-06	3	30
5	Основание 2	38000	0,4	21	22	0,4	1,16E-08	1,16E-08	1,16E-08	22	25
6	Основание 3	43000	0,4	19	20	0,75	1,16E-10	1,16E-10	1,16E-10	39	20

Подготовка к расчету конечно-элементной модели насыпи, состоящей из четырех слоев грунта (табл. 2), ограниченной проектной устойчивостью тонкой подпорной стенкой и от существующей застройки — шпунтом Ларсена (рис. 2), осуществ-

ляется в результате многоступенчатой стадийности. В табл. 3 представим краткое описание каждой стадии второй геотехнической задачи, так как первая задача состоит из более простых шагов расчета.

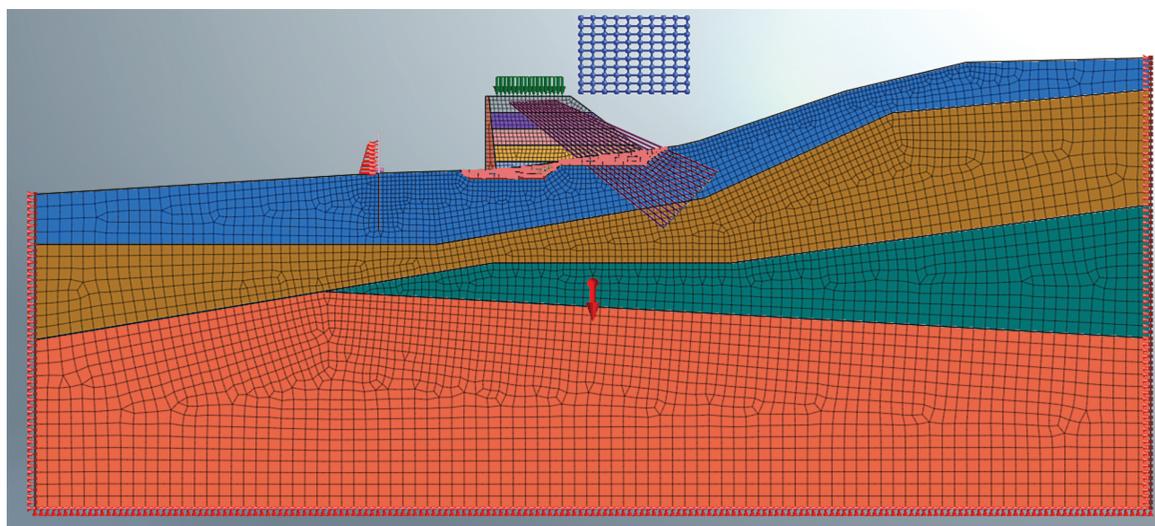


Рис. 2. Конечно-элементная модель транспортной насыпи, состоящей из четырех слоев грунта, ограниченной проектной устойчивостью тонкой подпорной стенкой и от существующей застройки — шпунтом Ларсена

Таблица 2

Свойства грунтов в задаче транспортной насыпи, состоящей из четырех слоев грунта, ограниченной проектной устойчивостью тонкой подпорной стенкой и от существующей застройки — шпунтом Ларсена

№	Наименование грунта	Модуль упругости (E), кПа	Модуль сдвиговых деформаций (G), кПа	Модуль деформаций при одометрическом испытании (E _{oed}), кПа	Коэффициент Пуассона (ν), [-]	Объемный вес (γ), кН/м ³	Коэффициент бокового давления (K ₀), [-]
1	Грунт 1	24200	9307,69	32576,9	0,3	18,2	0,388473
2	Грунт 2	32100	12346,2	43211,5	0,3	22,6	0,572642
3	Грунт 3	27600	10615,4	37153,8	0,3	20,1	0,646525
4	Грунт 4	25000	9615,38	33653,8	0,3	18	0,51519

Таблица 3

Стадии второй геотехнической задачи

№	Стадия	Краткая характеристика стадии
1	I	Начальная фильтрация; активируем все наборы конечных элементов, которые действуют на начальной стадии. В них входят все слои грунта, заменяющиеся наборы, жесткие связи, соединяющие узлы грунта и граничное условие начального уровня воды
2	II	Называемая начальная НДС, где переносим граничные условия ограничения перемещений и нагрузку от собственного веса
3	III	Равновесная, поскольку имеется неравномерное напластование слоев грунта
4	IV	Стенка/выемка/фильтрация; добавляем шпунт, граничное условие водопонижения
5	V	Расчет НДС по текущим условиям, учитывая вес от воды, которая действует на ограждение
6	VI	Подпорная стенка; добавляем конечные элементы подпорной стенки и ее граничные условия
7	VII	Отсыпка первого слоя насыпи, активация элементов первого слоя насыпи и граничных условий по замене свойств для первого слоя
8	VIII–X	Активация параметрических данных следующих трех слоев насыпи, ограниченных подпорной стенкой

№	Стадия	Краткая характеристика стадии
9	XI	Финальный слой отсыпки; следовательно, отключаем водопонижение, активируем последний слой насыпи и убираем водопонижение
10	XII	Расчет НДС по этим условиям; отключаем нагрузку воды, действующей в период водопонижения
11	XIII	Просмотр перемещения насыпи в процессе ее формирования
12	XIV	Расчет устойчивости, отключение ограждения, шпунта, интерфейса; добавление жестких связей, нагрузки пригруза по гребню насыпи и граничных условий, описывающих положение круглоцилиндрических поверхностей скольжения

Расчетный случай активировали с автоматическим учетом давления воды на открытые поверхности грунта и исследование деформаций, так как выполнялась задача отсыпки насыпи,

чтобы каждый новый слой занимал свое положение в соответствии с деформированным видом предыдущего слоя.

Заключение

Представим результаты напряженно-деформированного состояния, полученные в результате численного моделирования при решении двух

геотехнических задач по устойчивости и прочности транспортных насыпей в виде изополей (рис. 3–10).

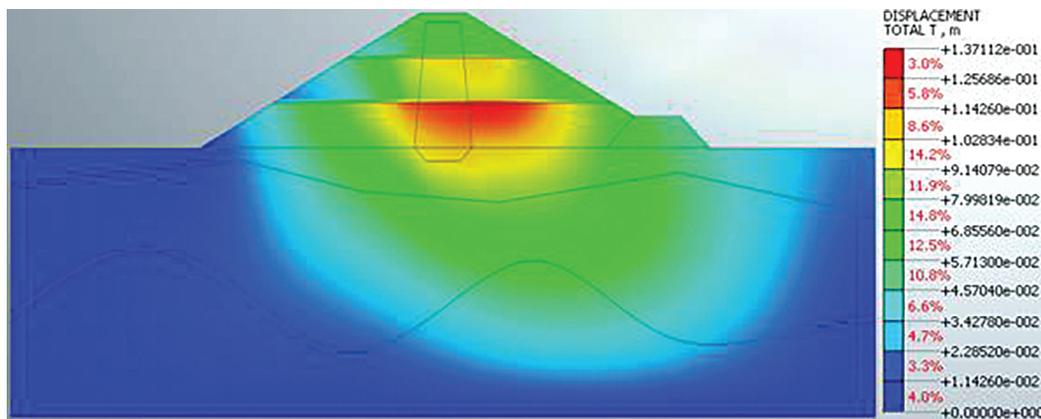


Рис. 3. Геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z

$$U_{max} = 0,137 \text{ см}; U_{min} = 0 \text{ см}$$

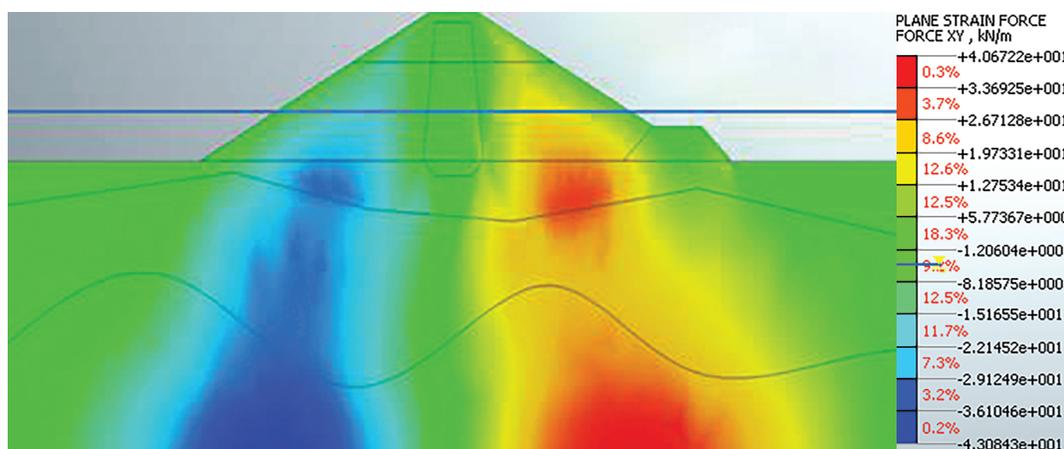


Рис. 4. Максимальная сдвиговая деформация $\gamma_{max} = 7,993e-1$; $\gamma_{max} = 2,081e-4$

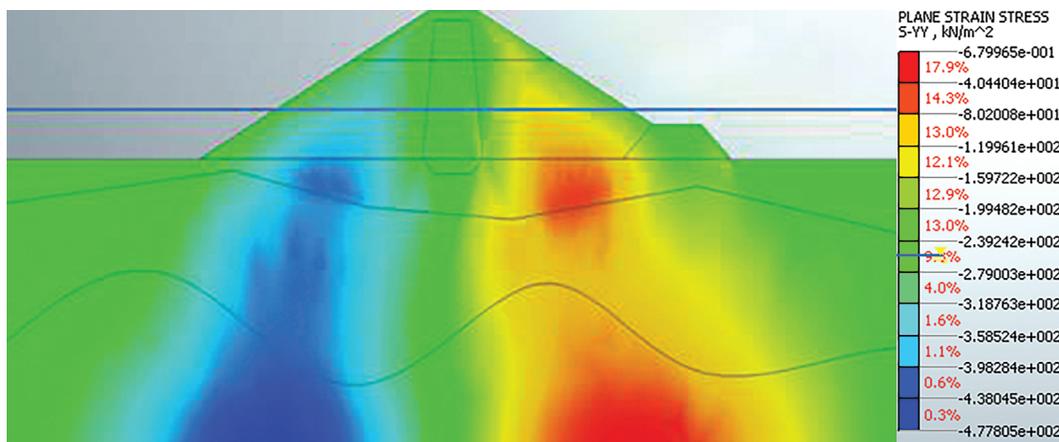


Рис. 5. Напряжение в скелете грунта (эффективное) относительно оси $Y \sigma_{max} = -6,799e-1 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = -4,778e2 \text{ кН/м}^2$

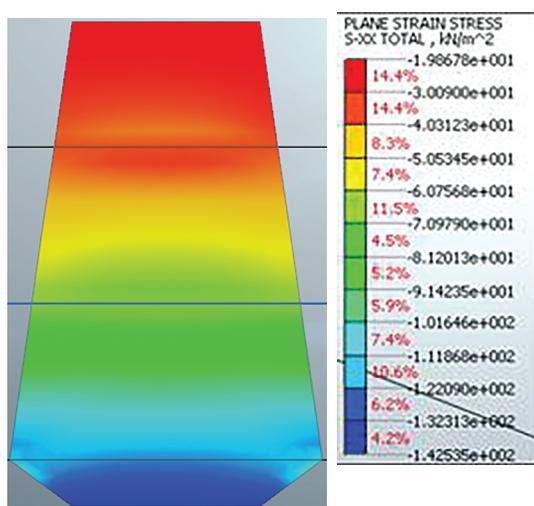


Рис. 6. Общие полные напряжения в ядре относительно оси $X \sigma_{max} = -1,986e1 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = -1,425e2 \text{ кН/м}^2$

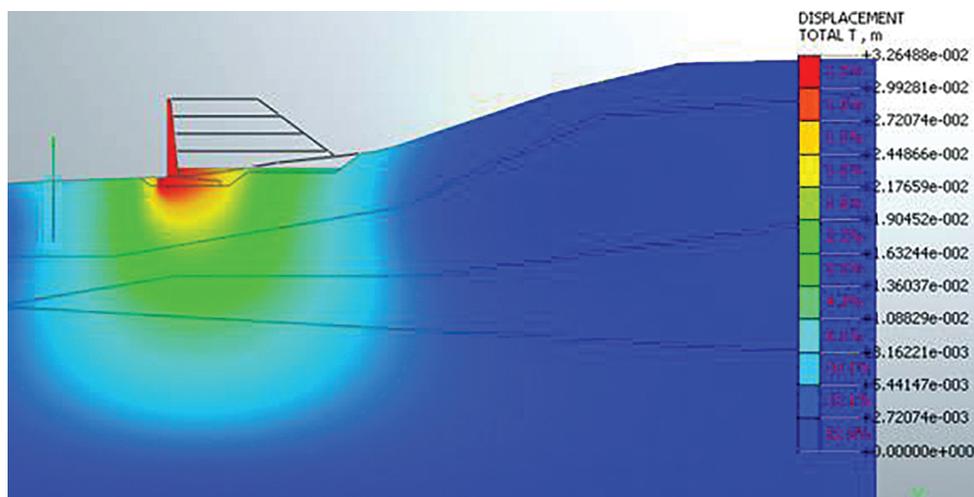


Рис. 7. Общая геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z без слабого подстилающего слоя

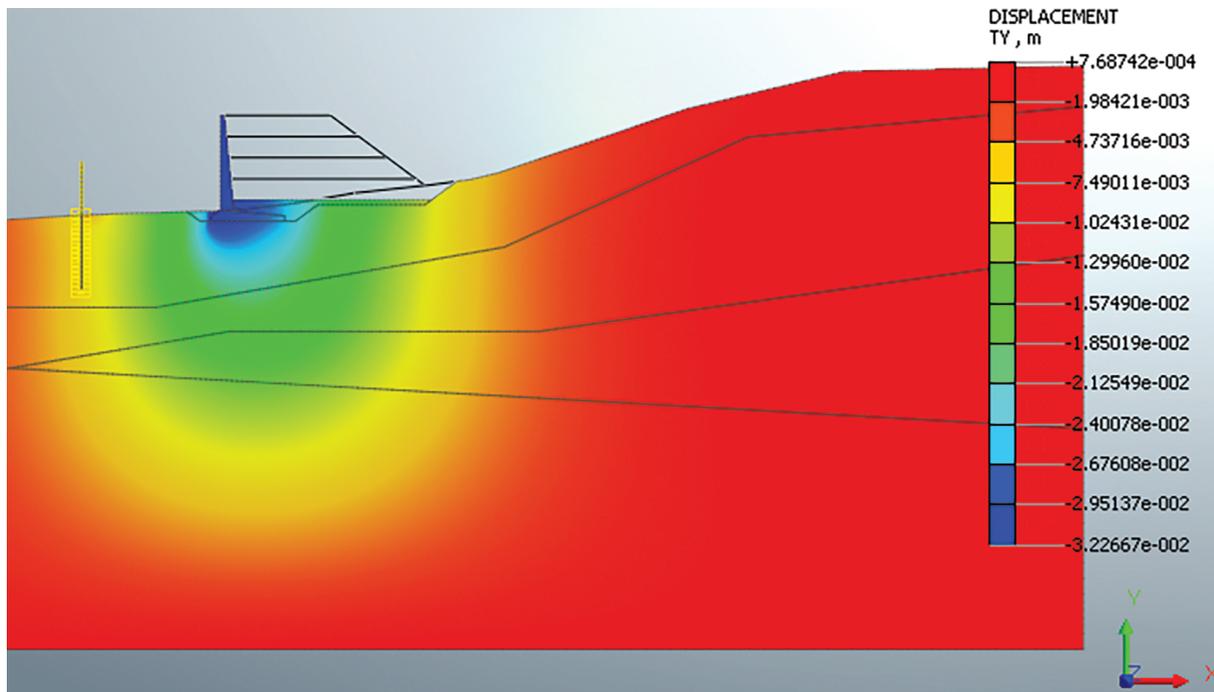


Рис. 8. Перемещения вдоль глобальной оси Y с учетом слабого подстилающего слоя

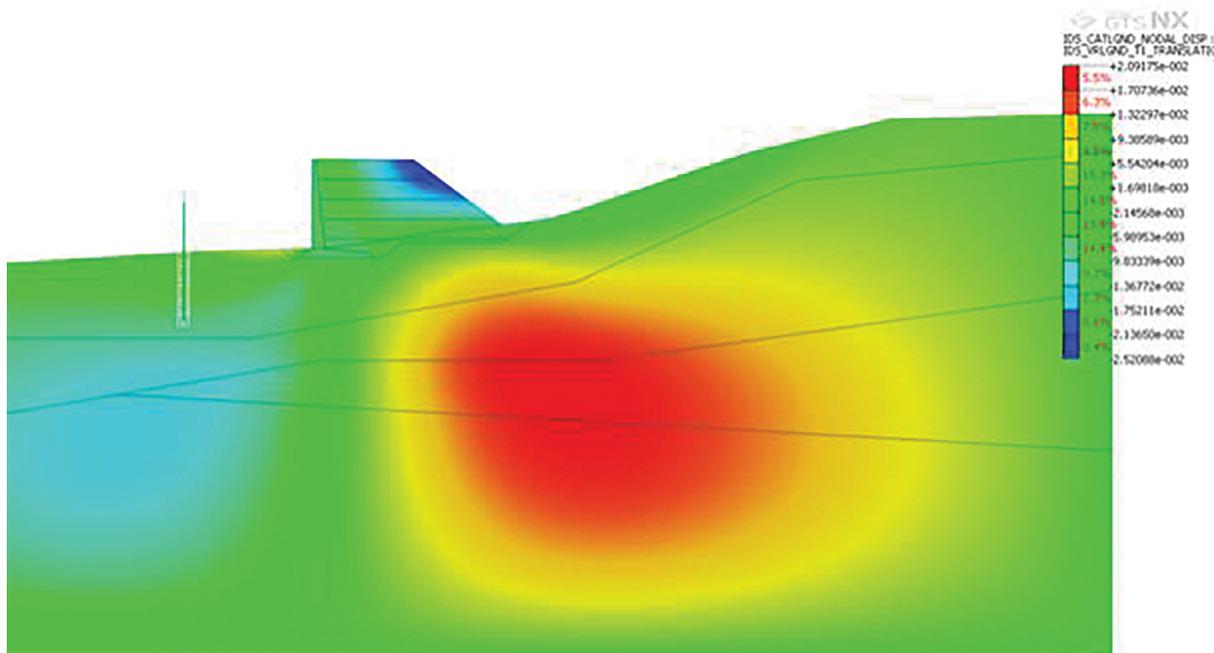


Рис. 9. Геометрическая сумма перемещений с учетом слабого подстилающего слоя
вдоль осей XYZ: $T_{max} = 0,00021$; $T_{min} = -0,00025$

Практическая часть исследования включила численный анализ стабильности и безопасности устойчивости двух типовых грунтовых насыпей: грунтовой насыпи с дренажными слоями у основания и ядром жесткости; грунтовой насыпи, состоящей из четырех слоев грунта, ограниченной проектной устойчивостью тонкой подпорной стенкой и от существующей застройки — шпунтом Ларсена. Геометрическое моделирование и создание конечно-элементной модели в двух задачах стали эффективными инструментами для понимания механизмов, влияющих на долго-

вечность и надежность проектируемых объектов с учетом подстилающего слоя и без него. После проведения расчета моделей были получены результаты напряженно-деформированного состояния всех запроектированных систем (рис. 3–9). Представим некоторые численные результаты, которые соответствуют условиям устойчивости и деформативности, представленным в формулах (1–7):

- поровое давление $P_{max} = 2,94e2 \text{ кН/м}^2$; $P_{min} = -3,29e-12 \text{ кН/м}^2$;

- сумма всех внешних сил, действующих на узел
 $F_{max} = 1,228e3$ кН; $F_{min} = 9,315e-1$ кН;
- сдвиговое усилие в элементах плоской деформации в плоскости XY $\tau_{max} = 4,067e1$ кН/м; $\tau_{min} = -4,308e1$ кН/м;
- геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z $U_{max} = 0,137$ см; $U_{min} = 0$ см;
- максимальная сдвиговая деформация $\gamma_{max} = 7,993e-1$; $\gamma_{min} = 2,081e-4$;
- напряжение в скелете грунта (эффективное) относительно оси Y $\sigma_{max} = -6,799e-1$ кН/м²; $\sigma_{min} = -4,778e2$ кН/м² и др.

Выявлено, что можно выделить следующие причины, приводящие к нарушению устойчивости массивов грунта в транспортных насыпях при реконструкции:

- утяжеление откоса вследствие увлажнения грунта;
- увеличение крутизны откосов;
- увеличение нагрузки на насыпь;
- неверно подобранные или полное отсутствие дренажных слоев в основании;
- уменьшение величины прочностных характе-

- ристик грунта тела откоса;
- недоучет характеристик слабого подстилающего слоя;
- сейсмическое или динамическое воздействие и др.

При расчете двух типов транспортных насыпей с учетом слабого подстилающего слоя грунта было выявлено: стратиграфические особенности характера подстилающих пород; изменение физико-механических характеристик грунтов, слагающих слабую толщу; особенности изменения гидрогеологического режима толщи; устойчивость насыпи на слабом основании, отсутствие боковых сдвигов и выпирания грунтов, характеризующихся небольшими значениями сцепления и угла внутреннего трения; время консолидации слабого основания, период после сооружения земляного полотна, спустя который можно устраивать дорожную одежду, не опасаясь ее просадок и разрушения.

Для повышения устойчивости насыпи можно использовать армирование. Укрепленные материалы и грунты обладают лучшими физико-механическими характеристиками по сравнению с неукрепленными материалами, а также в основании насыпи можно заложить грунтоцементные сваи с уширенной пятой [19,20].

Список литературы

1. Насыпь (транспорт). Википедия [Электронный ресурс] // ru.wikipedia.org — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/насыпь_\(транспорт\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/насыпь_(транспорт)), свободный. — Загл. с экрана.
2. Насыпь (транспорт). Рувики: интернет-энциклопедия [Электронный ресурс] // ru.ruwiki.ru. — Режим доступа: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/насыпь_\(транспорт\)](https://ru.ruwiki.ru/wiki/насыпь_(транспорт)), свободный. — Загл. с экрана.
3. Zolina T. Modeling of seismic load and assessment of its impact on the building frame and foundations of deep laying of bridge supports / T. Zolina, N. Kupchikova // E3S Web of Conferences. — — Vol. — P. — DOI 1051/e3sconf/— EDN YGYITU.
4. Насыпь — СЦБИСТ — железнодорожный форум, блог... [Электронный ресурс] // scbist.com. — Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/16126-nasyp.html>, свободный. — Загл. с экрана.
5. RU2148125C1 — насыпь подходов к искусственному... [Электронный ресурс] // yandex.ru. — Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/ru2148125c1_20000427, свободный. — Загл. с экрана.
6. Устройство земляного полотна / сооружение земляного полотна... [Электронный ресурс] // ins-lab.ru. — Режим доступа: <https://ins-lab.ru/blog/ustrojstvo-zemlyanogo-polotna/>, свободный. — Загл. с экрана.
7. АвтоМотоСпец [Электронный ресурс] // avtomotospec.ru. — Режим доступа: <https://avtomotospec.ru/obzory/kak-zastavit-chinovnikov-sdelat-dorogi-horoshimi-vse-rychagi-kontrolya-zadorozhnyimi-sluzhbami.html#tops>, свободный. — Загл. с экрана.
8. Технология строительства дорог, материалы [Электронный ресурс] // taxi-pesok.ru. — Режим доступа: <https://taxi-pesok.ru/stati/materialy-dlya-stroitelstva-dorog>, свободный. — Загл. с экрана.
9. Купчикова Н. В. Снижение осадки фундамента путем послойного поверхностного и глубинного уплотнения грунта со щебнем под нижним концом буронабивных свай // Строительство и реконструкция. — № 2 (46). — С. 41– — EDN RCHKVH.
10. Травуш, В. И. Моделирование поведения сплошного вертикального структурного геотехнического массива — разделительного экрана / В. И. Травуш, В. С. Федоров, О. А. Маковецкий //

Строительство и реконструкция. — № 1 (93). — С. 65. — DOI 33979/2073–7416–2021–93–1–65 — EDN WCZZVN.

11. Strigin B. Foundation reconstruction technology / B. Strigin, V. Fedorov // XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction—The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, 25–27 апреля 2018 года. — Moscow: Institute of Physics Publishing, — P. — DOI 1088/1757–899X/365/6/ — EDN YCBTVZ.

12. Титов В.П. Модели как инструмент транспортного планирования (прогнозирования) // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 46-й Международной научной школы-семинара, Уфа, 09–15 октября 2023 года. — Воронеж: Истоки, — С. 260. — DOI 5281/zenodo. — EDN GNOBUF.

13. Титов В.П. Модели транспортного планирования в системе прогнозирования развития города // Креативная экономика. — Т. — № — С. 4249. — DOI 18334/се. — EDN NVEZGO.

14. Constructive and technological solutions for underground space safety amidst dense historical buildings and weak foundation soils / R. Mangushev, A. Osokin, I. Diakonov, F. Kalach // E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022), Tashkent, Uzbekistan, 25–28 января 2023 года. — Vol. — Tashkent, Uzbekistan: EDP Sciences, — P. — DOI 1051/e3sconf/ — EDN NUVLVM.

15. Деформации виброползучести водонасыщенных грунтов в процессе высокочастотного динамического воздействия / Р. А. Мангушев,

И. П. Дьяконов, В. М. Полуниин, М. Р. Горкина // Жилищное строительство. — № — С. 45. — DOI 31659/0044–4472–2022–3–45. — EDN SAMBRR.

16. Фильтрационная устойчивость грунтовых перемычек плотин как временных гидротехнических сооружений / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, С. С. Рекунов, И. В. Федосюк // Строительство и реконструкция. — № 5 (115). — С. 44. — DOI 33979/2073–7416–2024–115–5–44. — EDN BVHOSI.

17. Купчикова Н. В. Численный анализ обеспечения устойчивости насыпей при реконструкции транспортной инфраструктуры // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — № 4 (50). — С. 70. — DOI 52684/2312–3702–2024–50–4–70. — EDN KPOZSU.

18. Патент № 2777637 С1 Российская Федерация, МПК E01C1/ Планировочная структура вновь создаваемых городов: № 2021127271: заявл. 2021: опубл. 2022 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина; заявитель: Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области высшего образования Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. — EDN GEKAJB.

19. Купчикова Н. В. Свайные фундаменты с несколькими уширениями для слабых и структурно неустойчивых оснований. Часть 1 // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — № 4 (46). — С. 81. — DOI 52684/2312–3702–2023–45–3–81. — EDN CLDGEX.

20. Купчикова Н. В. О факторах, влияющих на надежность свайных фундаментов с уширениями // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — № 3 (37). — С. 54. — DOI 52684/2312–3702–2021–37–3–54. — EDN VWZXNB.

References

1. Nasyp' (transport) — Ruwiki: Internet-entsiklopediya [Electronic resource] // ru.ruwiki.ru - Access mode: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/nasyp'\(transport\)](https://ru.ruwiki.ru/wiki/nasyp'(transport)), free. - Title from screen. [Embankment (Transport) — Ruwiki: Internet Encyclopedia [Electronic resource] // ru.ruwiki.ru - Access mode: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/nasyp'\(transport\)](https://ru.ruwiki.ru/wiki/nasyp'(transport)), free. - Title from screen.]

2. Nasyp' (transport) — Vikipediya [Electronic resource] // ru.wikipedia.org - Access mode: [https://ru.wikipedia.org/wiki/nasyp'\(transport\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/nasyp'(transport)), free. - Title from screen. [Embankment (Transport) — Wikipedia [Electronic resource] // ru.wikipedia.org - Access mode: [https://ru.wikipedia.org/wiki/nasyp'\(transport\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/nasyp'(transport)), free. - Title from screen.]

3. Zolina, T., & Kupchikova, N. (2024). Modeling of seismic load and assessment of its impact on the building frame and foundations of deep laying of bridge supports. E3S Web of Conferences, 533, 02014. DOI: 10.1051/e3sconf/202453302014

4. Nasyp' - STSBIST - zheleznodorozhnyy forum, blogi... [Electronic resource] // scbist.com - Access mode: <http://scbist.com/wiki/16126-nasyp.html>, free. - Title from screen. [Embankment - STSBIST - Railway Forum, Blogs... [Electronic resource] // scbist.com - Access mode: <http://scbist.com/wiki/16126-nasyp.html>, free. - Title from screen.]

5. RU2148125C1 - nasyp' podkhodov k iskusstvennomu... [Electronic resource] // yandex.

ru - Access mode: https://yandex.ru/patents/doc/ru2148125c1_20000427, free. - Title from screen. [RU2148125C1 - Embankment of Approaches to Artificial... [Electronic resource] // yandex.ru - Access mode: https://yandex.ru/patents/doc/ru2148125c1_20000427, free. - Title from screen.]

6. Ustroystvo zemlyanogo polotna | sooruzheniye zemlyanogo polotna... [Electronic resource] // ins-lab.ru - Access mode: <https://ins-lab.ru/blog/ustrojstvo-zemlyanogo-polotna/>, free. - Title from screen. [Construction of Subgrade | Earthwork Construction... [Electronic resource] // ins-lab.ru - Access mode: <https://ins-lab.ru/blog/ustrojstvo-zemlyanogo-polotna/>, free. - Title from screen.]

7. AvtoMotoSpec [Electronic resource] // avtomotospec.ru - Access mode: <https://avtomotospec.ru/obzory/kak-zastavit-chinovnikov-sdelat-dorogi-horoshimi-vse-rychagi-kontrolya-za-dorozhnyimi-sluzhbami.html#tops>, free. - Title from screen. [AvtoMotoSpec [Electronic resource] // avtomotospec.ru - Access mode: <https://avtomotospec.ru/obzory/kak-zastavit-chinovnikov-sdelat-dorogi-horoshimi-vse-rychagi-kontrolya-za-dorozhnyimi-sluzhbami.html#tops>, free. - Title from screen.]

8. Tekhnologiya stroitel'stva dorog, materialy [Electronic resource] // taxi-pesok.ru - Access mode: <https://taxi-pesok.ru/stati/materialy-dlya-stroitelstva-dorog>, free. - Title from screen. [Road Construction Technology, Materials [Electronic resource] // taxi-pesok.ru - Access mode: <https://taxi-pesok.ru/stati/materialy-dlya-stroitelstva-dorog>, free. - Title from screen.]

9. Kupchikova, N. V. Snizheniye osadki fundamenta putem posloynogo poverkhnostnogo i glubinnogo uplotneniya grunta so shchebнем pod nizhnim kontsom buronabivnykh svay / N. V. Kupchikova // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2013. – № 2(46). – S. 41-45. – EDN RCHKVH. [Kupchikova, N. V. Reduction of Foundation Settlement by Layer-by-Layer Surface and Deep Soil Compaction with Crushed Stone Under the Lower End of Bored Piles / N. V. Kupchikova // Construction and Reconstruction. – 2013. – № 2(46). – P. 41-45. – EDN RCHKVH.]

10. Travush, V. I. Modelirovaniye povedeniya sploshnogo vertikal'nogo strukturnogo geotekhnicheskogo massiva - razdelitel'nogo ekrana / V. I. Travush, V. S. Fedorov, O. A. Makovetskiy // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2021. – № 1(93). – S. 65-73. – DOI 10.33979/2073-7416-2021-93-1-65-73. – EDN WCZZVN. [Travush, V. I. Modeling the Behavior of a Continuous Vertical Structural Geotechnical Mass - Separating Screen / V. I. Travush, V. S. Fedorov, O. A. Makovetskiy // Construction and Reconstruction. – 2021. – № 1(93). – P. 65-73. –

DOI 10.33979/2073-7416-2021-93-1-65-73. – EDN WCZZVN.]

11. Strigin, B., & Fedorov, V. (2018). Foundation reconstruction technology. In XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018 (p. 062043). Moscow: Institute of Physics Publishing. DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062043

12. Titov, V. P. Modeli kak instrument transportnogo planirovaniya (prognozirovaniya) / V. P. Titov // Sistemnoye modelirovaniye sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov : trudy 46-oy Mezhdunarodnoy nauchnoy shkoly-seminara, Ufa, 09–15 oktyabrya 2023 goda. – Voronezh: Izdatel'stvo «Istoki», 2024. – S. 260-265. – DOI 10.5281/zenodo.10946535. – EDN GNOBUF. [Titov, V. P. Models as a Tool for Transport Planning (Forecasting) / V. P. Titov // System Modeling of Socio-Economic Processes: Proceedings of the 46th International Scientific School-Seminar, Ufa, October 09-15, 2023. – Voronezh: Publishing House «Istoki», 2024. – P. 260-265. – DOI 10.5281/zenodo.10946535. – EDN GNOBUF.]

13. Titov, V. P. Modeli transportnogo planirovaniya v sisteme prognozirovaniya razvitiya goroda / V. P. Titov // Kreativnaya ekonomika. – 2023. – T. 17, № 11. – S. 4249-4262. – DOI 10.18334/ce.17.11.119580. – EDN NVEZGO. [Titov, V. P. Transport Planning Models in the City Development Forecasting System / V. P. Titov // Creative Economy. – 2023. – Vol. 17, № 11. – P. 4249-4262. – DOI 10.18334/ce.17.11.119580. – EDN NVEZGO.]

14. Mangushev, R., Osokin, A., Diakonov, I., & Kalach, F. (2023). Constructive and technological solutions for underground space safety amidst dense historical buildings and weak foundation soils. In E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022) (Vol. 371, p. 02002). Tashkent, Uzbekistan: EDP Sciences. DOI: 10.1051/e3sconf/202337102002

15. Deformatsii vibropolzuchesti vodonasyshchennykh gruntov v protsesse vysokochastotnogo dinamicheskogo vozdeystviya / R. A. Mangushev, I. P. D'yakonov, V. M. Polunin, M. R. Gorkina // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2022. – № 3. – S. 45-56. – DOI 10.31659/0044-4472-2022-3-45-55. – EDN SAMBRR. [Vibrocreep Deformations of Water-Saturated Soils During High-Frequency Dynamic Impact / R. A. Mangushev, I. P. Dyakonov, V. M. Polunin, M. R. Gorkina // Housing Construction. – 2022. – № 3. – P. 45-56. –

DOI 10.31659/0044-4472-2022-3-45-55. – EDN SAMBRR.]

16. Fil'tratsionnaya ustoychivost' gruntovykh peremychek plotin kak vremennykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova, S. S. Rekunov, I. V. Fedosyuk // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2024. – № 5(115). – S. 44-60. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-115-5-44-60. – EDN BVHOSI. [Filtration Stability of Earth Cofferdams of Dams as Temporary Hydraulic Structures / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova, S. S. Rekunov, I. V. Fedosyuk // Construction and Reconstruction. – 2024. – № 5(115). – P. 44-60. – DOI 10.33979/2073-7416-2024-115-5-44-60. – EDN BVHOSI.]

17. Kupchikova, N. V. Chislennyy analiz obespecheniya ustoychivosti nasypey pri rekonstruktsii transportnoy infrastruktury / N. V. Kupchikova // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. – 2024. – № 4(50). – S. 70-77. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-70-77. – EDN KPOZSU. [Kupchikova, N. V. Numerical Analysis of Ensuring Embankment Stability During Transport Infrastructure Reconstruction / N. V. Kupchikova // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2024. – № 4(50). – P. 70-77. – DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-70-77. – EDN KPOZSU.]

18. Patent № 2777637 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E01C 1/00. Planirovochnaya struktura vnov' sozdavayemykh gorodov : № 2021127271 : zayavl. 15.09.2021 : opubl. 08.08.2022 / N. V. Kupchikova, R. I. Shayakhmedov, T. V. Zolina ; zayavitel' Gosudarstvennoye avtonomnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye

Astrakhanskoy oblasti vysshego obrazovaniya Astrakhanskiy Gosudarstvennyy Arkhitekturno-Stroitel'nyy Universitet. – EDN GEKAJB. [Patent № 2777637 C1 Russian Federation, IPC E01C 1/00. Planning Structure of Newly Created Cities : № 2021127271 : appl. 15.09.2021 : publ. 08.08.2022 / N. V. Kupchikova, R. I. Shayakhmedov, T. V. Zolina ; applicant State Autonomous Educational Institution of the Astrakhan Region of Higher Education Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. – EDN GEKAJB.]

19. Kupchikova, N. V. Svaynyye fundamenty s neskol'kimi ushirenyami dlya slabykh i strukturno neustoychivykh osnovaniy. Chast' 1 / N. V. Kupchikova // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. – 2023. – № 4(46). – S. 81-86. – DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-81-86. – EDN CLDGEX. [Kupchikova, N. V. Pile Foundations with Multiple Enlargements for Weak and Structurally Unstable Bases. Part 1 / N. V. Kupchikova // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2023. – № 4(46). – P. 81-86. – DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-81-86. – EDN CLDGEX.]

20. Kupchikova, N. V. O faktorakh, vliyayushchikh na nadezhnost' svaynykh fundamentov s ushirenyami / N. V. Kupchikova // Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya. – 2021. – № 3(37). – S. 54-61. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-37-3-54-61. – EDN VWZXNB. [Kupchikova, N. V. On Factors Affecting the Reliability of Pile Foundations with Enlargements / N. V. Kupchikova // Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region. – 2021. – № 3(37). – P. 54-61. – DOI 10.52684/2312-3702-2021-37-3-54-61. – EDN VWZXNB.]

Статья получена 30.01.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторе

Купчикова Наталья Викторовна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект», доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект», 101000, г. Москва, Потаповский переулок, д. 3, стр. 1
ORCID: 0000-0002-2986-4190
E-mail: kupchikova79@mail.ru

Information about the author

Kupchikova Natalia Viktorovna

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at State Budgetary Institution «MosTransProject», Associate Professor of the Department of «Building Structures, Buildings and Facilities» Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT MIIT)
Address: SBI «MosTransProject», 101000, Moscow, Potapovsky Lane, 3, building 1
ORCID: 0000-0002-2986-4190
E-mail: kupchikova79@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСПОРТНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

А. В. Белов

ГБУ «МосТрансПроект»

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения технологий искусственного интеллекта для задач проектирования объектов транспортной инфраструктуры. Проведен обзор научной литературы, нормативной документации, а также информации о коммерческих продуктах в этой области. Сделан вывод, что основой современного и будущего подхода к проектированию являются технологии информационного моделирования (ТИМ, BIM), а инструменты искусственного интеллекта на сегодняшний день дополняют их, решая отдельные задачи. Анализ факторов, препятствующих внедрению технологий искусственного интеллекта в процессы проектирования, показал, что разработка и внедрение инструмента, способного автоматически сформировать комплексное проектное решение, является крайне сложной задачей. Внедрение узкоспециализированных инструментов на основе искусственного интеллекта для существующих процессов может быть обоснованным, если позволит быстро получить значительный эффект. Внедрение технологий искусственного интеллекта в проектирование сможет дать наибольший эффект только в синергии с переходом на информационное моделирование.

Ключевые слова: искусственный интеллект, проектирование, транспортная инфраструктура, генеративный дизайн, технологии информационного моделирования, цифровая трансформация, цифровой двойник.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES APPLICATION IN TRANSPORTATION ENGINEERING AND DESIGN

A. V. Belov

GBU «MosTransProject»

Abstract. The article considers the issues of application of artificial intelligence technologies for design tasks of transport infrastructure objects. The review of scientific literature, regulatory documentation, as well as information about commercial products in this field is carried out. It is concluded that the basis of modern and future approach to design is information modelling technologies (BIM), and artificial intelligence tools today complement them, solving individual problems. The analysis of factors hindering the introduction of artificial intelligence technologies into design processes has shown that the development and implementation of a tool capable of automatically generating a complex design solution is an extremely difficult task. The introduction of highly specialized tools based on artificial intelligence for existing processes can be justified if it allows to quickly obtain a significant effect. The greatest effect of introducing artificial intelligence technologies in design can only be achieved in synergy with the transition to information modelling.

Keywords: artificial intelligence, engineering design, transport infrastructure, generative design, information modelling technologies, digital transformation, digital twin.

Введение

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) внедряются практически повсеместно и ускоряющимися темпами. Уже в каждой отрасли промышленности присутствуют те или иные решения на основе ИИ [1, 2]. Не исключение и сфера как промышленного, так и архитектурно-строительного проектирования. Решения на основе ИИ используются для разнообразных задач — от поиска и анализа информации до оптимизации рабочих процессов и поддержки принятия решений. Сотрудники всех уровней активно применяют универсальные чат-боты на основе больших языковых моделей. В некоторых задачах применяются генеративные модели и другие алгоритмы ИИ. Вместе с тем необходимо отметить, что архитектурные и проектные компании в строительстве активно переходят на технологии информационного моделирования (ТИМ или BIM — Building Information Modeling) [3]. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР), такие как AutoCAD, nanoCAD, Компас, Robur, IndorCAD и т. п., уже имеют возможности для работы с BIM-моделями и позволяют значительно повысить скорость и качество проектирования основных элементов как зданий и сооружений, так и объектов транспортной инфраструктуры.

Большинство зарубежных САПР уже имеют узкоспециализированные ИИ-решения, частично помогающие в проектировании, присутствуют практически во всех профессиональных программных продуктах для разработки проектной документации (Autodesk, Bentley Systems, Revit, Rhino и др.).

В мире много примеров ИИ-инструментов для пространственного городского планирования и архитектурных решений (CityEngine, UrbanFootprint, Spacemaker, UrbanistAI, Digital Blue Foam и др.). ИИ уже используется при разработке:

- генеральных планов;
- ландшафтного дизайна;
- архитектурных решений;
- визуализаций на разных этапах проектирования.

Существует также множество примеров ИИ-приложений для проектирования деталей и изделий (Siemens NX, Altair Inspire, PTC Creo, nTopology, ANSYS Discovery и др.).

Узкоспециализированные ИИ-решения, частично помогающие в проектировании, начинают появляться во многих зарубежных профессиональных САПР (AutoCAD, Bentley Systems, Revit, Rhino и др.). Такие решения позволяют:

- сгенерировать набор возможных решений с учетом введенных ограничений;
- автоматизировать различные этапы;
- оптимизировать объемы материалов;
- оценить решения по разным аспектам (освещенность, ветроустойчивость и т. п.);
- выявить закономерности и влияние параметров на характеристики объектов на основе прошлых проектов.

На стадии разработки заявлены ИИ-системы для полного цикла проектирования объектов капитального строительства с выдачей комплекта проектной документации (Blueprints AI, Augmenta.ai, script.engineering).

Несмотря на наблюдаемый прогресс, в отечественной практике транспортного проектирования все еще сохраняются подходы ручной разработки проектной документации и ее согласования на бумажных носителях. В этом случае САПР выступают лишь в роли «электронного кульмана», где проектировщики рисуют «палочки и кружочки» для создания чертежей проектируемых объектов.

Более того, в российской практике вопросы использования ИИ для транспортного проектирования практически не поднимаются. Например, в материалах профильной конференции «Системы автоматизированного проектирования на транспорте», прошедшей в 2023 году, лишь один доклад косвенно затрагивал эту тему [4].

Развитию ИИ в транспортном проектировании препятствует ряд факторов:

- огромное количество нормативных требований, которые трудно формализовать;
- сильная зависимость проектных решений от расположения существующих коммуникаций;
- необходимость множества межведомственных согласований проектной документации;
- недостаток квалифицированных специалистов;
- значительные финансовые затраты на внедрение и др.

Даже для устранения этих факторов и прямого внедрения технологий ИИ в существующую практику необходимо приложить системные и целенаправленные усилия, что требует научного подхода и предварительных исследований. Однако в соответствии с подходами цифровой трансформации необходимо внедрять новые технологии не в существующие процессы, а проводить их комплексный анализ и реинжиниринг. В части проектирования наиболее перспективным решением представляется применение ИИ

в процессе сквозного информационного моделирования, автоматически учитывающее пожелания заказчика и пользователей, действующие нормы, оптимизирующее затраты времени и ресурсов и верифицируемое также с помощью ИИ.

Метод

Для достижения поставленной цели исследования был выполнен выборочный обзор отечественных и зарубежных научных публикаций, найденных на порталах elibrary.ru и scopus.com по ключевым словам: «проектирование», «транспортная инфраструктура» «искусственный интеллект», «информационное моделирование». Путем применения методов анализа, индукции и дедукции были сделаны выводы о текущем состоянии и перспективах применения техноло-

Результаты и обсуждение

Перед тем как говорить о внедрении технологий ИИ в проектирование, необходимо рассмотреть этапы развития подходов в этой области и проанализировать существующие тренды и перспективы.

На рис. 1 схематически изображена модель зрелости ТИМ, где нулевым этапом является наиболее распространенное сегодня в отечественной практике транспортное проекти-

Таким образом, целью настоящего исследования является анализ существующих, определение первоочередных и перспективных направлений внедрения технологий ИИ в процессы транспортного проектирования.

гий ИИ в транспортном проектировании. Также проведен анализ информации о коммерческих продуктах и опыте применения ИИ в задачах архитектурно-строительного и транспортного проектирования.

Под транспортным проектированием в данной статье понимается процесс разработки и выпуска проектной и рабочей документации, необходимой для строительства или реконструкции объектов транспортной инфраструктуры.

рования ручное двухмерное проектирование с использованием САПР [5]. Далее, на уровнях 1–3, представлены этапы развития подхода информационного моделирования от перехода к отдельным параметрическим моделям до интегрированных облачных моделей полного жизненного цикла. В этой модели ИИ появляется только на последнем этапе, как одна из технологий индустрии 4.0.

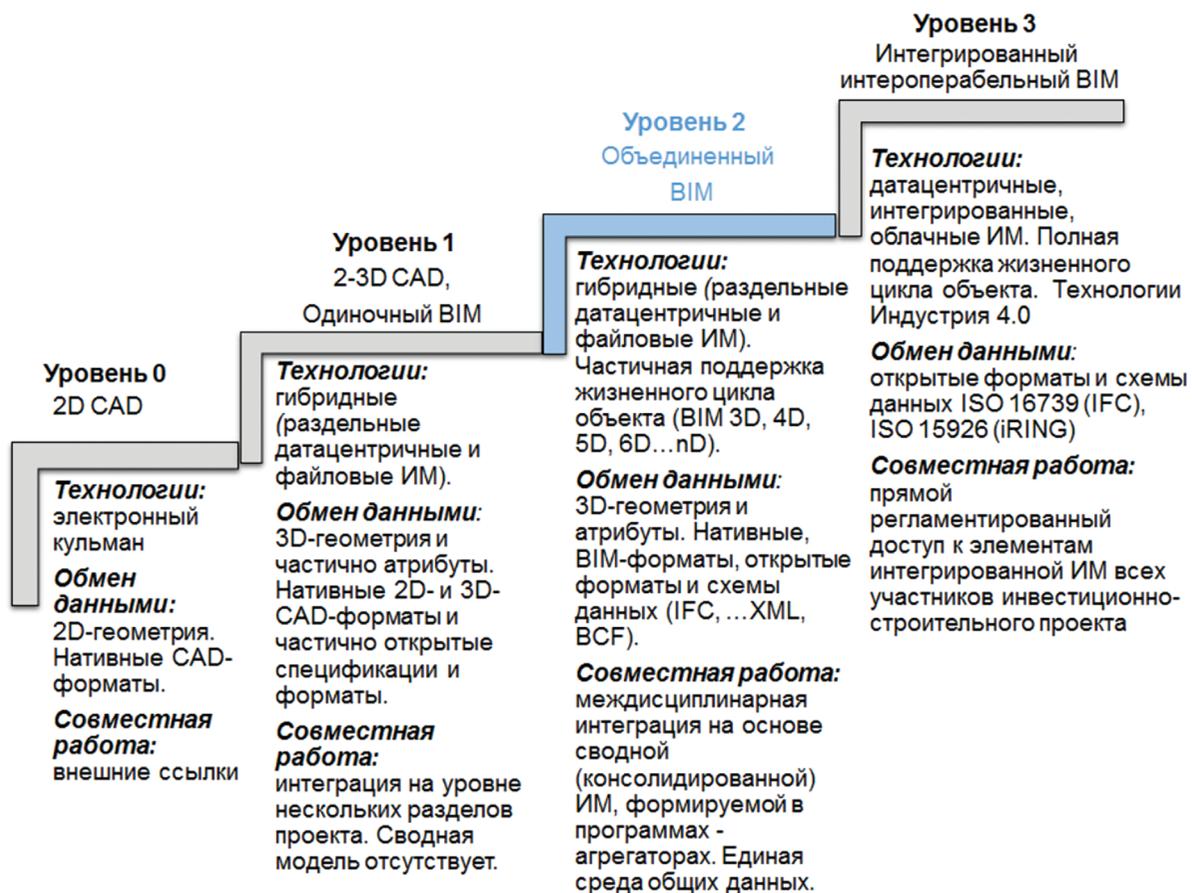


Рис. 1. Модель зрелости технологии информационного моделирования [5]

Модель зрелости ТИМ датирована 2018 годом, но в целом сохраняет свою актуальность. В то же время прогресс в области ИИ внес свои коррективы. В недавней статье, посвященной внедрению ИИ в архитектурно-градостроительное проектирование [6], приводится схема изменения

процессов проектирования при внедрении различных цифровых технологий (рис. 2), из которой следует, что основой современного процесса проектирования все также является ТИМ (BIM), а инструменты ИИ дополняют их, решая узкоспециализированные задачи.

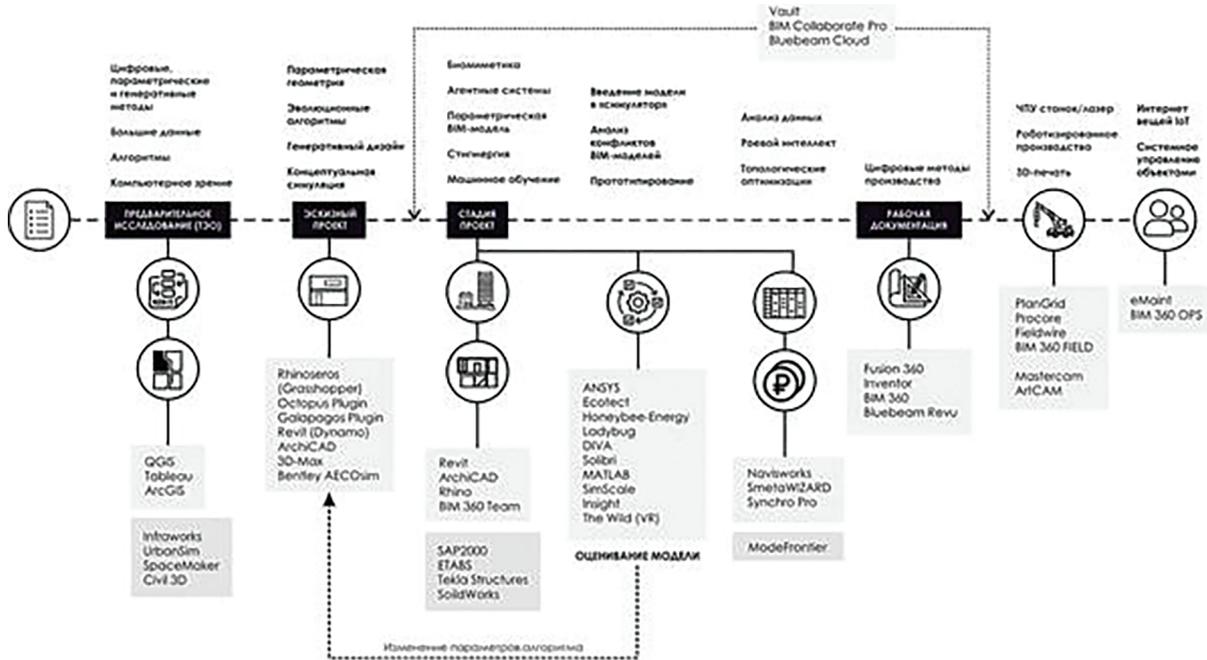


Рис. 2. Изменение процесса проектирования в условиях компьютеризации [6]

Широкое внедрение ТИМ в России началось примерно в 2013 году. В 2018 году развитие получило ускорение в соответствии с поручением Президента РФ от 19.07.2018 № Пр-1235 о необходимости переориентирования строительной отрасли на использование технологий информационного моделирования для ее модернизации и повышения качества строительства. На сегодняшний день достигнуты значительные успехи в применении ТИМ для проектирования как зданий, так и промышленных сооружений. В частности, была разработана отечественная нормативная база, создано специализированное программное обеспечение, а также налажено эффективное взаимодействие между заказчиками и подрядчиками в рамках новой методологии. Согласно Постановлению Правительства РФ от 05.03.2021 № 331, с 1 января 2022 года применение ТИМ стало обязательным для работы с объектами, которые финансируются из государственного бюджета. А согласно недавним изменениям в Федеральном законе № 214-ФЗ, с 1 июля 2024 года применение ТИМ стало обязательным для всех застройщиков.

Одним из главных современных вызовов остается перенос концепций ТИМ с проектирования зданий на инфраструктурные объекты, что подразумевает создание специализированных решений, таких как InfraBIM [7].

В 2016 году в госкомпании «Автодор» был разработан первый нормативный отраслевой документ в сфере ТИМ: СТО АВТОДОР 8.6–2016 «Организационная и технологическая поддержка процессов формирования информационных моделей автомобильных дорог на всех этапах жизненного цикла». Этот документ позволил выполнить первые пилотные проекты и накопить определенный опыт для дальнейшей эволюции процесса информационного моделирования дорог. В 2016–2017 годах по заказу Федерального дорожного агентства (Росавтодор) был выполнен ряд научно-исследовательских работ в сфере ТИМ. В результате разработан ОДМ 218.3.105–2018 «Методические рекомендации по организации взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на пилотных проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением BIM-технологии», утвержденный и введенный в действие приказом от 05.06.2018 № 2084-р.

Кроме того, распоряжением Минтранса России от 17.09.2020 № АК-177-р «О подготовке проектной документации с использованием технологии информационного моделирования» было установлено, что с 1 января 2021 года подготовка проектной документации в отношении объектов транспортной инфраструктуры, строительство, реконструкция которых финансируется за счет средств федерального бюд-

жета и внебюджетных источников, осуществляется с использованием технологии информационного моделирования.

При использовании ТИМ важен переход к поддержке всего жизненного цикла объекта проектирования. Считать стоимостные и временные параметры объекта и эффект от использования новых технологий необходимо не на отдельных стадиях (проектирование, строительство, эксплуатация), а на всем жизненном цикле [7].

Согласно методическим рекомендациям Росавтодора, информационная модель объектов транспортной инфраструктуры должна состоять из дисциплинарных цифровых информационных моделей (строительные конструкции, дорожное покрытие, ТСОДД, электроснабжение, элементы благоустройства и т. д.). Эти модели должны быть взаимосвязаны в сводной цифровой модели. Основой для построения информационной модели объекта транспортной инфраструктуры является цифровая модель местности (ЦММ): форма представления инженерно-топографического плана в цифровом объектно-пространственном виде для автоматизированного решения инженерных задач и проектирования объектов строительства. ЦММ состоит из цифровой модели рельефа, цифровой модели ситуации и цифровой модели геологического строения участка строительства. При стадийной разработке информационной модели рекомендуется выделять модель территориального планирования, модель планировки территории, проектную, рабочую, исполнительную и эксплуатационную модели [8].

Следующим этапом развития ТИМ можно рассматривать их применение для территорий, так называемое Precinct Information Model (PIM)— комплексную 3D цифровую модель участка, которая содержит всю информацию, необходимую для поддержки планирования, дизайна, развития, строительства, управления, эксплуатации и использования городских участков. PIM-модель представляет собой коллекцию объектов (зданий, мостов, дорог, парков и т. д.) и набор ассоциированных данных с этими объектами.

Такой подход открывает пути для применения технологий ТИМ в более широком масштабе, включая концепцию «цифрового двойника» городов. Цифровой двойник будет агрегировать всю необходимую информацию о зданиях (BIM) и территориях (PIM) по мере развития ТИМ.

Цифровой двойник не ограничивается пассивной инкапсуляцией информации, во все его функции будет встроено ИИ, который станет «живым» онлайн-представлением проекта по мере его развития, а также симулятором реальных условий [9].

Вместе с тем и цифровые двойники, и ИИ являются технологиями так называемой «Индустрии 4.0» — нового этапа индустриализации, основанного на цифровой трансформации отраслей экономики, направленного на поиск, разработку и внедрение новых промышленных технологий и инноваций, приводящих к росту производительности труда и эффективности использования ресурсов во всех сферах экономики. По определению цифровой трансформации как глубокой реорганизации бизнес-процессов с применением цифровых инструментов, которая приводит к существенному улучшению их характеристик, исчезновению целых групп подпроцессов и появлению принципиально новых их качеств и свойств [10], цифровые инструменты не должны слепо навешиваться на существующие процессы. Необходимы новые «бизнес-модели», концепции и архитектуры, позволяющие достичь качественно новых результатов.

Также необходимо сквозное целеполагание, когда цели, в первую очередь повышение качества жизни людей, должны отражаться на проектных решениях всех уровней от стратегического и мастер-планирования до объемно-пространственных решений и используемых материалов конкретных объектов инфраструктуры и обустройства. Для систем городского транспорта такой подход предлагается как одно из направлений совершенствования государственной политики в области автомобильного транспорта, трансформируя задачи транспортного планирования и организации дорожного движения в непрерывный процесс развития системы на основе цифрового двойника и согласованного набора целей [11]. Вершиной развития ТИМ можно считать системы соучаствующего (партисипаторного)¹ проектирования на основе ИИ, соответствующие уже устойчивой и человекоцентричной «Индустрии 5.0» [12].

Таким образом, именно трансформация, то есть переход от простых чертежей к параметрическому проектированию и информационным моделям полного цикла, позволяет получить максимальные эффекты от технологий ИИ и учесть мнения всех заинтересованных сторон.

¹ Процесс проектирования с участием всех заинтересованных сторон: жителей, местных сообществ, представителей бизнеса, некоммерческих организаций и административных структур, владельцев и арендаторов земельных участков, инвесторов, экспертов, различных социальных и культурных групп и других заинтересованных в проекте сторон для определения целей и задач развития территории, выявления истинных проблем, ценностей и потребностей, совместного принятия решений и повышения эффективности проекта (ГОСТ Р 70390–2022. Комплексное благоустройство и эксплуатация городских территорий. Социокультурное программирование. Основные требования и процессы).

Проектирование на основе параметрической модели, по сути, представляет собой задачу многомерной нелинейной оптимизации, справиться с которой традиционные методы не в состоянии, а технологии ИИ могут помочь найти близкие к оптимальным решения. Генеративное проектирование, являющееся подвидом оптимизации на основе ИИ, позволяет архитекторам и инженерам задавать параметры проекта, такие как размеры, тип материалов, пространственные и иные ограничения. Затем алгоритмы ИИ генерируют сотни или тысячи потенциальных проектных решений, каждое из которых соответствует заданным требованиям. Используя эти возможности, ТИМ-инструменты, интегрированные с ИИ, могут быстро оценить эти варианты проектирования на основе таких показателей, как стоимость, структурная целостность и энергоэффективность. Это сокращает время и усилия, традиционно требуемые для ручного проектирования, и позволяет архитекторам принимать более обоснованные решения [13].

Технологии ИИ, в частности большие языковые модели и методы генеративного дизайна, могут быть эффективно применены для соучаствующего проектирования, когда запросы и пожелания заинтересованных сторон представляются в формате текстового описания, эскизов, изображений-референсов и т. п. На основе таких запросов ИИ-модель предложит возможные варианты концептуальных решений уже с учетом действующих строительных нормативов и имеющихся ограничений.

Анализ, проведенный в недавнем исследовании [14], показал, что проблемы интеграции ТИМ и ИИ глубоко укоренились в существующих в отрасли технических ограничениях, организационных структурах и финансовых трудностях. В частности, результаты исследования указывают на фундаментальный дефицит понимания потенциальных преимуществ синергии ТИМ-ИИ, что усугубляется отсутствием практических, основанных на фактах исследований, демонстрирующих ценность эффективности проекта, снижения затрат и процесса принятия решений.

В десятку наиболее часто упоминаемых проблем интеграции ТИМ и ИИ входят:

- 1) высокая стоимость программного и аппаратного обеспечения для интегрированных решений ТИМ-ИИ;
- 2) высокая стоимость обучения и реинжиниринга для использования ТИМ-ИИ в строительстве;
- 3) сопротивление интеграции ТИМ-ИИ в стратегические задачи;

- 4) нехватка специалистов по интеграции ТИМ-ИИ;
- 5) недостаточный опыт интеграции ТИМ-ИИ;
- 6) ограниченность отраслевых руководств и стандартов по интеграции ТИМ-ИИ;
- 7) низкая заинтересованность клиентов в интегрированных решениях ТИМ-ИИ в строительных проектах;
- 8) проблемы совместимости отраслевых базовых классов с интегрированными решениями ТИМ-ИИ;
- 9) проблемы с качеством данных;
- 10) неизвестность в вопросе возврата инвестиций в интегрированные решения ТИМ-ИИ.

Тем не менее на начальных этапах развития ТИМ интерес представляют также ИИ-решения, позволяющие ускорить существующие процессы.

Выделяют три типа ИИ-инструментов для проектирования, применяемых как:

- инструмент анализа данных, позволяющий по-новому взглянуть на сложные проблемы, возникающие при решении городских задач;
- помощник в оптимизации процессов проектирования и планирования, например при расчетах различных параметров землепользования, ориентации, нагрузок, климатических условий и т. д.;

генератор, который предлагает неочевидные идеи, например для создания архитектурных решений, планировки городских кварталов в рамках граничных условий.

В качестве инструмента анализа данных в задачах проектирования могут использоваться универсальные, широко применяемые методы машинного обучения, обработки естественного языка, интеллектуального поиска и т. д.

В части оптимизации процессов транспортного проектирования применение технологий ИИ требует детального анализа и проработки каждого конкретного процесса с подбором и настройкой или разработкой подходящей ИИ-модели. В качестве универсального примера из этой категории можно привести решения для автоматизации создания файлов в формате.dwg. Эти инструменты используют алгоритмы машинного обучения для преобразования пользовательских спецификаций в точные САД-модели, упрощая процесс проектирования для инженеров, архитекторов и дизайнеров.

Одним из таких инструментов является Text to САД. Он особенно эффективен для интерпретации спецификаций, связанных с механическими компонентами и архитектурными планами. Путем анализа предоставленного текста он извлекает

важные размеры, геометрические атрибуты и элементы дизайна. ИИ применяет рассуждения для вывода размеров, когда явные измерения отсутствуют, тем самым учитывая сложные геометрии и обеспечивая соответствие стандарту AC1032 для файлов DWG [15].

Аналогичный инструмент Text2CAD использует модели стабильной диффузии для автоматизации генерации технических чертежей. Эта модель эффективно соединяет текстовые спецификации пользователя с функциональными CAD-моделями. Она переводит текстовые описания в детализированные изображения, которые затем конвертируются в векторные. Этот процесс не только повышает эффективность, но и гарантирует, что созданные модели сохраняют физическую и размерную согласованность, что имеет решающее значение для практических инженерных приложений [16]. Text2CAD также может производить высококачественные 3D CAD-модели.

Еще одной инновационной платформой является Text-to-CAD от Zoo, которая также предназначена для генерации CAD-файлов через текстовые команды. Используя машинное обучение, этот инструмент анализирует обучающие данные для создания CAD-файлов, которые могут быть импортированы в различные CAD-программы. Возможность тонкой настройки моделей машинного обучения на основе собственных наборов данных позволяет пользователям настраивать процесс под конкретные приложения [17].

Преобразуя концептуальные проекты или письменные спецификации в CAD-модели, эти инструменты способствуют более эффективному процессу проектирования. Например, инженер может подробно описать механическую деталь, и инструмент сгенерирует точную CAD-модель на основе этого описания, что значительно сокращает время, затрачиваемое на ручное черчение, и увеличивает точность проекта.

Более того, эти инструменты позиционируются так, чтобы быть доступными даже для людей с ограниченным опытом работы в CAD-программном обеспечении, демократизируя доступ к современным возможностям проектирования [18].

Использование ИИ-инструментов для генерации непосредственно проектных решений имеет наибольший потенциал повышения их эффективности и качества. Генеративные состоя-

тельные сети (Generative adversarial networks, GAN) продемонстрировали значительный потенциал в генерации архитектурных проектов [19]. GAN состоят из двух конкурирующих нейронных сетей: генератора и дискриминатора. Роль генератора заключается в создании новых синтетических данных, в то время как задача дискриминатора — различать реальные и сгенерированные данные [20]. Используя эти передовые технологии ИИ, строительная индустрия сможет расширить границы традиционных методов проектирования и достичь беспрецедентных уровней эффективности и креативности.

Один из первых стартапов в области генеративного проектирования с помощью ИИ (2016 год) — Xkool — разработал новую методику обучения с подкреплением, благодаря которой не нужно было полагаться на большие наборы данных существующих зданий [21]. Система способна извлекать свои собственные правила из предыдущих примеров и генерировать варианты, которые были действительно инновационными. Она освободила инструменты проектирования от ограничений базы данных реальных примеров и перешла к прямому использованию исходных моделей, созданных по правилам, которые они усвоили в процессе итераций состязательной модели. В итоге создается модель, которая наилучшим образом соответствует (или даже превосходит) ожиданиям дизайнеров-людей и имеет потенциал для создания ранее неизвестного.

На сегодняшний день количество подобных решений на основе ИИ уже составляет несколько десятков и продолжает увеличиваться. Создаются все более совершенные решения, способные автоматически генерировать полный комплект проектной документации объекта строительства. Тем не менее перспектива их развития лежит в русле сращивания с технологиями информационного моделирования и создания высокодетализированного цифрового двойника как самого объекта, так и окружающих его систем и среды. В части транспортного проектирования это означает, что параметры объектов транспортной инфраструктуры должны автоматически рассчитываться на основе комплекса моделей и инструментов ИИ в рамках цифрового двойника всей транспортной системы, охватывающего все процессы и факторы, которые определяют требования к таким объектам.

Заключение

Как и для многих отраслей и задач существует значительный потенциал повышения качества и скорости транспортного проектирования за счет

внедрения технологий ИИ. Однако прежде чем внедрять такие технологии, необходимо ответить на вопрос — стоит ли затрачивать ресурсы

на интеллектуализацию существующих процессов или сначала переходить на использование сквозного информационного моделирования и уже там внедрять инструменты на основе ИИ. Ответ на данный вопрос не всегда однозначен и требует проведения дополнительных научных исследований.

В настоящее время у проектировщиков отсутствует мотивация внедрять подход информационного моделирования, поскольку такого запроса нет у заказчика проектных работ. Поскольку заказчиком проектирования транспортной инфраструктуры в большинстве случаев выступает государство, переход на технологии информационного моделирования в транспортном проектировании требует изменений на уровне государственной политики и стратегического целеполагания. В целом в сфере проектирования такой вектор задан государством. В строительном секторе он проявляется в большей степени, и работа ведется более интенсивно, однако можно полагать, что усиление этого тренда произойдет и в транспортном проектировании.

С другой стороны, наиболее прогрессивные проектные организации уже начали проводить пилотные проекты с использованием ТИМ. Таким образом, для сохранения конкурентных преимуществ представляется целесообразным рекомендовать проектным организациям в области транспорта закрепить переход на ТИМ на уровне стратегии организации и начинать внедрять его в практику в инициативном порядке, не дожидаясь изменений в госполитике и нормативном регулировании.

Внедрение точечных, узкоспециализированных ИИ-решений для отдельных процессов проектирования может быть обоснованным на данном этапе, если возможно быстро получить значительный эффект от внедрения таких

технологий. Однако разработка ИИ-решения для транспортного проектирования, способного сформировать комплексное проектное решение какого-либо объекта, является крайне сложной задачей. Примеры таких решений в мировой практике отсутствуют. Следует четко понимать, что значительная или даже полная автоматизация традиционного подхода к проектированию с помощью ИИ — это путь, не позволяющий достичь максимальных эффектов в скорости и качестве проектирования элементов транспортных систем именно потому, что это элементы одной системы, а не изолированные решения.

В качестве целевого состояния предлагается принять такое, когда проектирование объектов капитального строительства и инфраструктуры будет представлять собой автоматизированный поиск наилучших решений в среде сквозного информационного моделирования всей городской среды (цифрового двойника) на основе исторических, текущих, прогнозных данных, а также целевых показателей функционирования систем. Такая система будет интегрирована в полный цикл развития территорий и систем, включая стратегическое целеполагание, планирование развития, оценку проектных решений, проектирование конкретных объектов, оценку эффективности их реализации и управление их эксплуатацией.

Переход к такому подходу крайне затруднительно совершить одномоментно. Для этого необходимо постепенно, но системно и целенаправленно внедрять принципы информационного моделирования в существующие процессы, параллельно внося изменения в программы подготовки кадров и нормативную документацию. Таким образом, внедрение технологий ИИ в проектирование сможет дать наибольший эффект только в синергии с информационным моделированием.

Список литературы

1. Аналитический отчет по внедрению решений в области искусственного интеллекта в отраслях промышленности // PDF-документ. — Режим доступа: <https://ict.moscow/static/71626349-1f91-53c1-855f-9d067640db60.pdf> (дата обращения: 21.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. рус.

2. Эффективные отечественные практики применения технологий искусственного интеллекта в промышленности // PDF-документ. — Режим доступа: <https://ict.moscow/static/pdf/files/>

AI-prom-2.pdf (дата обращения: 21.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. рус.

3. Окладникова С. В., Полякова К. В. Практики внедрения BIM-моделирования в России // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы VII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки. Астрахань, 9 февраля 2024 года. — Астрахань: Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. — С. 30–34.

4. Системы автоматизированного проектирования на транспорте: Материалы X Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 27–28 апреля 2023 года. — Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2023.
5. Методическое пособие для заказчиков (государственного заказчика, застройщика, технического заказчика) «Планирование и реализация процессов информационного моделирования» // PDF-документ / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве». — Москва, 2018. — Режим доступа: <https://doc.aspsk.ru/bim/lib/23.pdf> (дата обращения: 24.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. рус.
6. Власова Е. Л. Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании / Е. Л. Власова, М. Л. Власова, Н. В. Боровикова, Д. В. Карелин // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023. № 4 (65). С. 311–324. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-311-324.
7. Бойков В. Н., Скворцов А. В. InfraBIM для автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2019. № 1 (12). С. 4–9. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.1.
8. ОДМ 218.3.105–2018. Отраслевой дорожный методический документ. «Методические рекомендации по организации взаимодействия участников разработки проектной и рабочей документации на пилотных проектах строительства, капитального ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением BIM-технологии» (издан на основании распоряжения Росавтодора от 05.06.2018 № 2084-р (отменен распоряжением Росавтодора от 05.05.2022 № 1414-р.)).
9. As I., Vasu P., & Talwar P. (Eds.). (2022). *Artificial Intelligence in Urban Planning and Design: Technologies, Implementation, and Impacts*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-05206-5>.
10. Стратегия цифровой трансформации: написать, чтобы выполнить / Под ред. Е. Г. Потаповой, П. М. Потева, М. С. Шклярчук. — М.: РАНХиГС, 2021.
11. Белов А. В. О совершенствовании государственной политики в области автомобильного транспорта и городской мобильности в условиях перехода к цифровой экономике и экономике данных / А. В. Белов, В. В. Луговенко, Ю. В. Бутенко // *Транспорт Российской Федерации*. — 2025. — № 1 (116). — С. 3–9.
12. Industry 5.0 // European Commission. — Режим доступа: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (дата обращения: 27.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
13. Aleke C. U., Usang W. O., Obi-obuoha A., Jolaosho A. A., & Michael O. O. / *Artificial Intelligence as a tool for enhancing Building Information Modeling (BIM)* // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. — 2024. — 24 (02). — pp. 1833–1846. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.2.3517>.
14. Khan A. A.; Bello A. O.; Arqam M.; Ullah F. / *Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies // Technologies*. — 2024. — 12. — 185. <https://doi.org/10.3390/technologies12100185>.
15. Text to CAD — Text to DWG Conversion // *yeschat.ai*. — Режим доступа: <https://www.yeschat.ai/gpts-9t563W5LgH9-Text-to-CAD> (дата обращения: 28.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
16. Yavartanoo M. Text2CAD: Text to 3D CAD Generation via Technical Drawings // *arXiv*. — Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2411.06206> (дата обращения: 28.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
17. Design Faster with Text Prompts in our AI CAD Model Generator-Zoo // *Zoo*. — Режим доступа: <https://zoo.dev/text-to-cad> (дата обращения: 28.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
18. The Best Text to Cad Drawing AI Generator (for Free) — *OpenArt // OpenArt*. — Режим доступа: <https://openart.ai/generator/cad-drawing> (дата обращения: 28.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.
19. Li C.; Zhang T.; Du X.; Zhang Y.; Xie H. / *Generative AI for Architectural Design: A Literature Review // arXiv 2024, arXiv:2404.01335*. Available online: <https://arxiv.org/abs/2404.01335>.
20. Ghimire P., Kim K., Acharya M. / *Opportunities and Challenges of Generative AI in Construction Industry: Focusing on Adoption of Text-Based Models // Buildings* 2024. — 14. — 220.
21. He W. / *Urban Experiment: Taking Off on the Wind of AI // Architectural Design*, 2020. — 90. — pp. 94–99. <https://doi.org/10.1002/ad.2574>.

References

1. Analiticheskij otchyot po vnedreniyu reshenij v oblasti iskusstvennogo intellekta v otraslyah promyshlennosti [Analytical report on the implementation of artificial intelligence solutions in industries]. PDF-document. Available at: <https://ict.moscow/static/71626349-1f91-53c1-855f-9d067640db60.pdf> (accessed: 21.02.2025).
2. Effektivnye otechestvennye praktiki primeneniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v promyshlennosti [Effective domestic practices of applying artificial intelligence technologies in industry]. PDF-document. Available at: <https://ict.moscow/static/pdf/files/AI-prom-2.pdf> (accessed: 21.02.2025).
3. Okladnikova S.V., Polyakova K.V. Praktiki vnedreniya BIM-modelirovaniya v Rossii [Practices of implementing BIM modeling in Russia]. In: Innovacionnoe razvitie regionov: potencial nauki i sovremennogo obrazovaniya: Materialy VII Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, priurochennoj ko Dnyu rossijskoj nauki [Innovative development of regions: the potential of science and modern education: Proceedings of the VII National Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the Day of Russian Science]. Astrakhan, February 9, 2024. Astrakhan: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 2024, pp. 30-34.
4. Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya na transporte: Materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh [Computer-aided design systems in transport: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists]. St. Petersburg, April 27-28, 2023. St. Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 2023, 302 p. ISBN 978-5-7641-1922-9.
5. Metodicheskoe posobie dlya zakazchikov (gosudarstvennogo zakazchika, zastrojshchika, tekhnicheskogo zakazchika) «Planirovanie i realizaciya processov informacionnogo modelirovaniya» [Methodological guide for customers (state customer, developer, technical customer) «Planning and implementation of information modeling processes»]. PDF-document. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Federal Autonomous Institution «Federal Center for Standardization, Standardization and Conformity Assessment in Construction». Moscow, 2018. Available at: <https://doc.asps.ru/bim/lib/23.pdf> (accessed: 24.02.2025).
6. Vlasova E.L., Vlasova M.L., Borovikova N.V., Karelin D.V. Iskusstvennyj intellekt v arhitekturno-gradostroitel'nom proektirovanii [Artificial intelligence in architectural and urban planning]. Architecture and Modern Information Technologies, 2023, no. 4(65), pp. 311-324. DOI: 10.24412/1998-4839-2023-4-311-324
7. Bojkov V.N., Skvorcov A.V. InfraBIM dlya avtomobil'nyh dorog [InfraBIM for highways]. SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog [CAD and GIS for roads], 2019, no. 1(12), pp. 4-9. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.1.
8. ODM 218.3.105-2018. Otrasleyvoj dorozhnyj metodicheskij dokument. Metodicheskie rekomendacii po organizacii vzaimodejstviya uchastnikov razrabotki proektnoj i rabochej dokumentacii na pilotnyh proektah stroitel'stva, kapital'nogo remonta i rekonstrukcii avtomobil'nyh dorog s primeneniem BIM-tekhnologii [Industry road methodological document. Methodological recommendations on organizing interaction of participants in the development of design and working documentation for pilot projects for the construction, major repair and reconstruction of roads using BIM technology]. Issued based on Rosavtodor Order No. 2084-r dated 05.06.2018 (canceled by Rosavtodor Order No. 1414-r dated 05.05.2022).
9. As, I., Basu, P., & Talwar, P. (Eds.). (2022). Artificial Intelligence in Urban Planning and Design: Technologies, Implementation, and Impacts. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-05206-5>
10. Strategiya cifrovoj transformacii: napisat', chtoby vpolnit' [Digital transformation strategy: write to implement]. Ed. by E.G. Potapova, P.M. Poteev, M.S. Shklyaruk. Moscow: RANEPА, 2021, 184 p.
11. Belov A.V., Lugovenko V.V., Butenko Yu.V. O sovershenstvovanii gosudarstvennoj politiki v oblasti avtomobil'nogo transporta i gorodskoj mobil'nosti v usloviyah perekhoda k cifrovoj ekonomike i ekonomike dannyh [On improving state policy in the field of automotive transport and urban mobility in the transition to digital economy and data economy]. Transport Rossijskoj Federacii [Transport of the Russian Federation], 2025, no. 1(116), pp. 3-9.
12. Industry 5.0 // European Commission. URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en (accessed: 27.02.2025).
13. Aleke, C. U., Usang, W. O., Obi-Obuoha, A., Jolaosho, A. A., & Michael, O. O. (2024). Artificial Intelligence as a tool for enhancing Building Information Modeling (BIM). World Journal of Advanced

Research and Reviews, 24(02), 1833–1846. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.2.3517>

14. Khan, A. A., Bello, A. O., Arqam, M., & Ullah, F. (2024). Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in Construction Projects: A Review of Challenges and Mitigation Strategies. *Technologies*, 12, 185. <https://doi.org/10.3390/technologies12100185>

15. Text to CAD - Text to DWG Conversion // yeschat.ai. URL: <https://www.yeschat.ai/gpts-9t563W5LgH9-Text-to-CAD> (accessed: 28.02.2025).

16. Yavartanoo, M. Text2CAD: Text to 3D CAD Generation via Technical Drawings // arXiv. URL: <https://arxiv.org/abs/2411.06206> (accessed: 28.02.2025).

17. Design Faster with Text Prompts in our AI CAD Model Generator - Zoo // Zoo. URL: <https://zoo.dev/text-to-cad> (accessed: 28.02.2025).

18. The Best Text to Cad Drawing AI Generator (for Free) - OpenArt // OpenArt. URL: <https://openart.ai/generator/cad-drawing> (accessed: 28.02.2025).

19. Li, C., Zhang, T., Du, X., Zhang, Y., & Xie, H. (2024). Generative AI for Architectural Design: A Literature Review. arXiv, arXiv:2404.01335. Available online: <https://arxiv.org/abs/2404.01335>

20. Ghimire, P., Kim, K., & Acharya, M. (2024). Opportunities and Challenges of Generative AI in Construction Industry: Focusing on Adoption of Text-Based Models. *Buildings*, 14, 220.

21. He, W. (2020). Urban Experiment: Taking Off on the Wind of AI. *Architectural Design*, 90, 94-99. <https://doi.org/10.1002/ad.2574>

Статья получена 05.02.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторе

Белов Александр Владимирович
кандидат технических наук, главный научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект»,
101000, г. Москва,
Потаповский переулок, д. 3, стр. 1
ORCID: 0000-0002-6132-4987
E-mail: belov_trans@mail.ru

Information about the author

Belov Alexander Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher at State Budgetary Institution «MosTransProject»
Address: SBI «MosTransProject»,
101000, Moscow,
Potapovsky Lane, 3, building 1
ORCID: 0000-0002-6132-4987
E-mail: belov_trans@mail.ru

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭКСПЕРТИЗЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР

В. И. Гришин

Э. Э. Джафаров

ГБУ «МосТрансПроект»

Аннотация. Статья посвящена вопросам применения искусственного интеллекта (ИИ) в экспертизе результатов научно-исследовательских работ (НИР). Авторы рассматривают современные вызовы, связанные с необходимостью повышения эффективности и системности экспертной деятельности, а также вопросы ускорения внедрения инноваций в транспортной сфере. В статье анализируются существующие цифровые экспертные системы, их возможности и ограничения, а также перспективы использования технологий ИИ для автоматизации и улучшения качества экспертизы НИР. Авторы подчеркивают, что внедрение ИИ в экспертные процессы способно снизить временные и финансовые затраты, повысить качество и объективность экспертных заключений. Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций по совершенствованию экспертной деятельности за счет интеграции современных цифровых технологий и ИИ.

Ключевые слова: научная экспертиза, цифровые технологии, искусственный интеллект (ИИ), транспорт, транспортная система, научно-исследовательские работы, технические задания, отчеты о НИР.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EVALUATION OF RESEARCH AND DEVELOPMENT RESULTS

V. I. Grishin

E. E. Dzhafarov

SBI «MosTransProject»

Abstract. This article addresses the application of artificial intelligence (AI) in the evaluation of research and development (R&D) results. The authors examine contemporary challenges related to enhancing the efficiency and systematization of expert evaluation activities, as well as issues concerning the acceleration of innovation implementation in the transportation sector. The article analyzes existing digital expert systems, their capabilities and limitations, and the prospects for utilizing AI technologies to automate and improve the quality of R&D evaluation. The authors emphasize that integrating AI into expert evaluation processes can reduce time and financial expenditures while enhancing the quality and objectivity of expert conclusions. The practical significance of this research lies in the development of recommendations for improving expert evaluation activities through the integration of modern digital technologies and AI.

Keywords: scientific expertise, digital technologies, artificial intelligence (AI), transport, transportation system, research and development, technical specifications, R&D reports.

Введение

На протяжении многих лет в рамках реализации Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы» [21] заказывались научно-исследовательские работы по транспортной тематике. Так, с 2018 по 2025 год для Департамента транспорта и раз-

вития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы (Дептранс) было выполнено около 160 НИР на общую сумму, приближающуюся к трем миллиардам рублей (рис. 1). Тематика выполненных НИР касалась практически всех сторон деятельности транспортно-

го комплекса Москвы: рельсовый транспорт; электротранспорт и зарядная инфраструктура; средства индивидуальной мобильности (СИМ), каршеринг; парковки; грузовые перевозки;

организация дорожного движения; такси и др. НИРы, НИОКРы фактически являлись ответом на возникающие вызовы как внешней среды, так и внутренней [20].



Рис. 1. Выполненные НИР в транспортном комплексе Москвы в 2018–2025 годах

Источник: Составлено авторами на основе данных Дептранса.

Разработка и внедрение НИР позволили активно внедрять инновации. Сегодня московский транспортный комплекс является по этому виду деятельности первым в стране и одним из ведущих в мире. В то же время есть понимание и требования руководства Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы по повышению эффективности и системности НИР, ускорению использования их результатов в практической деятельности. Институт экспертизы при его полном и последовательном использовании обеспечивает условия для повышения результативности научных разработок [8].

Научная (научно-техническая) экспертиза включает в себя комплекс мероприятий, направленных на изучение, анализ и оценку планируемых и (или) полученных научных и научно-технических результатов, проектов научных тем, научных исследований, проектов планов научных работ, научных и научно-технических программ и проектов [18, 19].

В Дептрансе этой работой занимается Научный центр ГБУ «НИИ МосТрансПроект» (Научный центр).

В организационно-методическом плане Научным центром:

- разработано положение о проведении экспертизы, которое периодически уточняется;
- создан Экспертный совет по науке, в составе которого ведущие ученые вузов и НИИ города Москвы, и рабочие группы;
- привлекаются к экспертной деятельности высококвалифицированные эксперты по соответствующим проблематикам рассматриваемых НИР;
- проводятся экспертные работы на всех этапах целеполагания, выполнения и внедрения НИР в практическую деятельность.

Приведенные на рис. 1 НИР отличаются большим разнообразием. В их числе работы по совершенствованию и улучшению социальных, технических, технологических, организационных, экологических, экономических и других процессов, связанных с транспортом и логистикой.

Для проведения экспертизы таких работ требуются различные методологические подходы и высококвалифицированные эксперты. Часто в рамках экспертных работ даже одной НИР требуются эксперты в различных специальных

областях [12].

В качестве метода определения новизны эксперты используют методы поиска информации (с использованием поисковых систем по тегам, в том числе в академических базах данных, на специализированных сайтах и форумах, в социальных сетях) и сравнительного анализа, сопоставления информации. Эксперты, как правило, в первую очередь полагаются на личный опыт. Но рост числа исследований и расширение тематики исследований в каждой научной области девальвируют личный опыт экспертов [12].

Проведение экспертизы связано с серьезными временными и финансовыми затратами на поиск экспертов [3, 4], оценку их квалификации, в том числе их признания в научной сфере. Поэтому для облегчения экспертной деятельности в сфере научных исследований в настоящее время используются различные автоматизированные системы экспертной оценки НИР и возможности современных технологий ИИ. Понимая важность экспертной деятельности и возможности ее со-

Метод

Методы исследования — контент-анализ, структурный, содержательный и сравнительный анализы, системный анализ и синтез.

Результаты и обсуждение

Исследования существующих цифровых систем и технологий ИИ. Анализ экспертной деятельности в НИР Дептранса

Существующие сегодня цифровые экспертные системы представляют собой сложные программно-информационные технические комплексы, имеющие возможность проводить экспертную оценку на всех этапах [4, 5]:

- целеполагание НИР (долгосрочные программы, планы, прогнозы);
- обоснованность тематик НИР, технических заданий;
- отчеты и результаты НИР;
- внедрение НИР и создание инноваций.

Цифровые экспертные системы и технологии ИИ позволяют [2]:

- формировать экспертные задания любой сложности;
- вести сематический поиск экспертов;
- организовывать работу экспертов;
- анализировать документы;
- формировать электронные экспертные заключения;
- вести документооборот и аналитическую отчетность.

В рамках такой системы определены после-

вершенствования путем внедрения современных цифровых систем и технологий ИИ, видим необходимость в анализе, разработке и использовании последних в экспертных процессах [21].

Объектом исследования в настоящей работе является экспертная деятельность в научной сфере транспорта и логистики.

Предметом исследования являются технологии ИИ, разрабатываемые для использования в экспертной деятельности.

Цель исследования — совершенствование экспертной деятельности НИР за счет внедрения технологий ИИ.

Научная значимость состоит в применении в разработке новых тенденций и закономерностей применения технологий ИИ при экспертизе НИР.

Практическая значимость применения технологий ИИ в экспертной деятельности заключается в повышении эффективности и качества экспертных работ, снижении трудоемкости и финансовых затрат.

довательность и взаимоувязка экспертных процедур, обеспечено серьезное информационное сопровождение, регламентирована деятельность экспертов, эксплуатационников программного обеспечения и информационного обеспечения.

Система может обеспечивать оценку качества экспертов на основании результатов ранее проведенных экспертиз. Все это должно быть в соответствующих базах данных.

В общем случае автоматизированная система экспертизы (АСЭ) включает в себя [7]:

- информационное обеспечение базы данных (БД), базы знаний (БЗ), доступ к доступным информационным ресурсам общего пользования;
- математическое и программное обеспечение (методы и алгоритмы);
- техническое обеспечение;
- кадровое обеспечение.

Несомненно, АСЭ оказывают серьезную помощь в оценке результатов НИР. Но они предназначены для выполнения заранее заданных задач и процессов, которые обычно являются рутинными и повторяющимися. Они работают на основе заранее заданных алгоритмов и правил. АСЭ не способны самостоятельно адаптироваться к новым ситуациям и обучаться на основе опыта. Они обычно требуют вмешательства

человека для настройки, контроля и коррекции их работы.

Искусственный интеллект (ИИ) может быть полезным инструментом при экспертизе обоснования научно-исследовательской работы (НИР). Приведем несколько способов, как ИИ может быть использован в этом процессе [1].

С помощью больших языковых моделей ИИ проверяет точность расчетов, правильность методологии и корректность ссылок в статье. Каждая статья анализируется неоднократно, чтобы исключить случайные ошибки и минимизировать число ложных срабатываний. Проверка одной статьи обходится от 15 руб. до нескольких сотен руб. Уже сейчас YesNoError проверяет до 20 тыс. статей в месяц [22]. ИИ может работать автономно, без вмешательства человека.

Вместе с тем имеется ряд ограничений на применение ИИ в экспертных работах [16]:

– разработка и внедрение ИИ требуют значительных инвестиций в технологии и инфраструктуру [6];

- необходимо наличие высококвалифицированных специалистов;
- соблюдение конфиденциальности информации о проведенных экспертизах и экспертах;
- сопротивление внедрениям со стороны экспертов и их дисквалификация.

Эти факторы необходимо учитывать при проектировании архитектуры и основных компонентов цифровой интеллектуальной экспертной системы (ЦИЭС).

Существуют разные типы архитектур для ЦИЭС [10]:

- на основе правил;
- на основе машинного обучения;
- гибридная архитектура;
- нейросетевая архитектура;
- архитектура на основе расширенной реальности.

При выборе архитектуры ЦИЭС необходимо руководствоваться рядом критериев:

- функциональными требованиями;
- временем разработки и простотой в эксплуатации;
- гибкостью и интеграцией с другими цифровыми системами, модулями и сервисами;
- безопасностью;
- стоимостью разработки и эксплуатации и др.

ЦИЭС может состоять из следующих модулей [11]:

- интерфейса взаимодействия эксперта и ЦИЭС;
- анализа входящего текста;
- обработки языка;
- управления диалогом;

- интеграции с другими системами и источниками данных;
- хранения и управления данными;
- вывода ответа;
- машинного обучения и обучающих данных;
- безопасности.

Описание и анализ экспертной деятельности НИР в Деитрансе

Необходимость проведения экспертных исследований и нормативно-правовые основы проведения экспертизы в научной сфере заложены в Федеральном законе «О науке и государственной научно-технической политике» [23], где указано, что органы государственной власти Российской Федерации и органы государственной власти субъектов Российской Федерации организуют проведение экспертиз научных и научно-технических программ и проектов, финансируемых за счет средств соответствующего бюджета. На необходимость экспертной оценки результатов проводимых исследований и разработок обращается внимание и в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Целью научной и научно-технической экспертизы является оценка научно-технического уровня научных исследований, в том числе оценка соответствия результатов научного исследования установленным требованиям технического задания и оценка практической ценности полученных результатов [13, 14].

Объектом экспертизы является отчетная научно-техническая документация, включающая технические задания, отчеты о НИР (НИОКР), проекты научных тем научных исследований, проекты планов научных работ, научных и научно-технических программ и проектов, а также другие аналитические, научно-технические и презентационные документы.

Предметом экспертизы является научно-техническая информация, представленная в отчетных документах, анализ которой позволяет сделать экспертам объективные выводы относительно полноты и достоверности проведенных исследований, обоснованности выводов и возможности практического использования результатов научного исследования.

Основанием для проведения экспертизы является запрос Заказчика экспертизы, который принимает решение о необходимости проведения экспертизы отчетной документации по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам. Свое решение о проведении экспертизы Заказчик экспертизы через систему электронного документооборота направляет Организатору экспертизы. К письму прикладывается отчетная научно-техническая документация, экспертизу которой требуется провести.

В Дептрансе экспертизе подлежат следующие документы [21]:

- целеполагающие документы (программа развития науки, планы научных исследований на год с обоснованием необходимости каждой НИР);
- технические задания на конкретные НИР;
- отчеты о выполненных НИР.

Основными участниками экспертной деятельности являются Заказчик, Исполнитель и Организатор экспертизы.

В качестве заказчика выступает Дептранс в лице заместителя руководителя.

Исполнитель экспертизы — это эксперт. В Экспертном совете сформированы рабочие (экспертные) группы по направлениям деятельности, из числа членов этих групп и привлекаются специалисты для выполнения экспертных исследований.

Организатором экспертизы является Экспертный совет по науке (рис. 2).

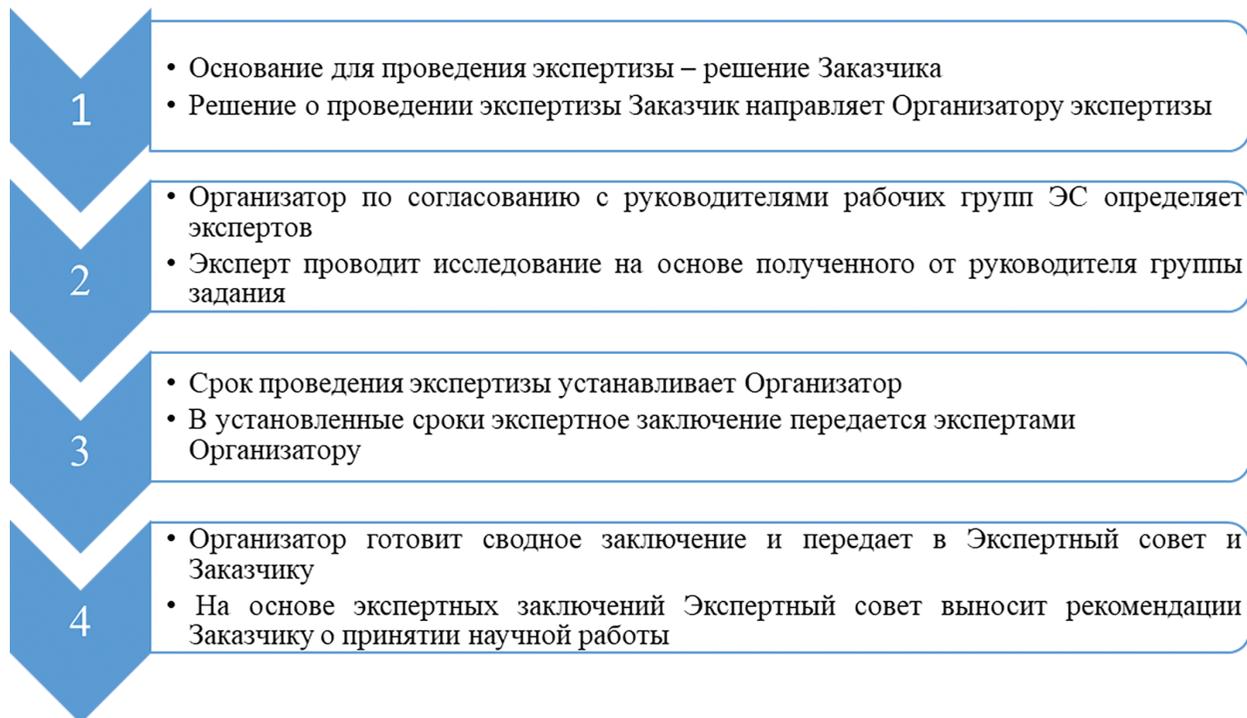


Рис. 2. Организационная схема взаимоотношений участников экспертного процесса

Экспертов для выполнения экспертизы отчетной научно-технической документации, переданной Заказчиком на экспертизу, определяют руководители рабочих (экспертных) групп Экспертного совета по науке.

Выбор конкретных лиц (экспертов) для проведения экспертизы осуществляется исходя из специфики представленного на экспертизу материала. Эксперты должны иметь соответствующие компетенции для проведения экспертных исследований представленных на экспертизу отчетных материалов.

При необходимости экспертиза может проводиться не менее чем двумя экспертами независимо друг от друга.

В соответствии с Положением о научной и научно-технической экспертизе, принятой в Дептрансе, эксперт самостоятельно выбирает методы исследования для получения предварительных или окончательных выводов относительно предмета экспертизы.

Заключением научной и научно-технической

экспертизы является документ, подготовленный Исполнителем экспертизы (экспертом), содержащий основные выводы по объекту экспертизы.

Экспертное заключение, подготовленное Исполнителем экспертизы, представляется Организатору экспертизы.

Организатор экспертизы на основании полученных от экспертов экспертных заключений делает по каждому предмету экспертизы сводное заключение. При этом Организатор экспертизы не имеет права по своему усмотрению изменять, по-иному трактовать сделанные экспертами замечания и выводы.

Сводное экспертное заключение, подготовленное Организатором экспертизы, подписанное председателем Экспертного совета по науке или иным уполномоченным лицом Экспертного совета, соответствующим образом оформленное, передается Заказчику.

Исполнитель научной работы по требованию Заказчика экспертизы должен провести работу

по устранению замечаний, отмеченных экспертом в экспертном заключении.

На основании экспертных заключений Экспертный совет выносит рекомендации Заказчику экспертизы о принятии или непринятии научно-исследовательской работы.

Эксперт в ходе экспертизы должен выполнить следующие работы [5]:

Дать общую характеристику научной работы, в том числе отметить:

- вид научной работы (НИР, ОКР, фундаментальное или прикладное исследование, другое);
- плановые сроки выполнения НИР;
- фактические сроки выполнения НИР;
- какие документы представлены на экспертизу;
- соответствие оформления работы требованиям ГОСТа.

Дать оценочные показатели научной работы:

- актуальность научного исследования в рамках научной темы;
- оценка полноты исследования в соответствии

Актуальность исследования

Актуальность определяется наличием противоречий, нерешенной в настоящее время проблемы, неизученностью темы и невозможностью решить практические задачи. Наличие несоответствий между тем, как есть и как должно быть, выявляется путем сравнительного анализа реальности и желаемого состояния. Выявление актуальности требует большой работы по сбору материала, его осмыслению и анализу. Для доказательства актуальности необходимо выявить, что

Новизна исследования

Новизна исследования часто в исследованиях, научных статьях подменяется актуальностью. При этом в научной среде устоялось понимание новизны, характеризующееся тремя формами проявления:

- преобразование известных положений, данных;

Полнота и качество изложения информации

Специалисты отмечают [13], что при оценке комплектности представленной отчетной документации эксперт оценивает достаточность предоставленного Исполнителем комплекта отчетной документации, соответствие перечня документов требованиям Соглашения, а также их оформление согласно требованиям ГОСТ 7.32–2017. Следует отметить, что при оценке данного критерия эксперт оценивает не только

с техническим заданием;

- оценка соответствия используемых в представленной работе методов и подходов к решению поставленных задач;
- научная новизна;
- оценка возможности практического использования предполагаемых результатов;
- оценка научно-технической, экономической и социальной результативности;
- заключительное мнение эксперта о проведенных научных исследованиях в рамках научной темы (общая оценка научной состоятельности, наличие слабых сторон, недочетов, ошибок и т. п.).

Дать рекомендации по приемке работы. Возможны следующие варианты рекомендаций по приемке работы:

- цель работы достигнута полностью, рекомендуется принять работу без замечаний;
- цель работы достигнута, рекомендуется принять работу после устранения замечаний;
- другое.

Детализация оценочных показателей [6].

есть «социальный заказ» в обществе на решение каких-то вопросов, или обнаружить нерешенные задачи в практической области из-за отсутствия научного знания. В обосновании актуальности лежит также анализ массива научных разработок в исследуемой области, выявление и доказательство недостаточности научного знания. Эксперт должен оценить, что все перечисленные аналитические работы исполнителем выполнены [14].

- расширение, дополнение имеющихся знаний новыми элементами;
- уточнение, конкретизация, распространение новых положений, данных на новый класс объектов, систем.

формальное соответствие документации требованиям Соглашения и ГОСТа, но и обращает внимание на то, насколько комплектность данных документов позволяет провести объективную экспертизу выполненных за отчетный период работ. Экспертиза полноты и качества изложения информации в представленных документах предполагает оценку возможности проведения экспертного анализа по представленным материалам полу-

ченных научно-технических результатов. При выявлении недостатков требуется обоснование

оценки экспертного заключения с перечислением выявленных недостатков документации.

Оценка полноты

исследования в соответствии с техническим заданием

Оценка полноты исследования в соответствии с техническим заданием осуществляется путем сопоставления перечня видов работ, указанных в техническом задании, и наличием соответствующих разделов в структуре работы. При этом эксперт не должен ограничиваться сугубо формальным подходом, необходимо оценивать, насколько полно дано описание поставленных вопросов в рамках каждого раздела.

Оценка соответствия используемых в представленной работе методов и подходов к решению поставленных задач

Оценка соответствия используемых в работе

методов и подходов к решению поставленных задач подразумевает проверку обоснованности применяемых методов, стратегии ведения работы, наличия механизмов для корректировки деятельности в зависимости от получаемых результатов. Оценка используемых в работе методов особенно важна при проведении опытно-конструкторских работ. Четкое описание методов позволяет другим исследователям при необходимости повторить эксперимент или исследование, чтобы проверить достоверность полученных результатов. Это основа научной объективности и надежности.

Новизна исследования

При оценке научной новизны следует избегать субъективных оценок. Оценочными показателями научной новизны для прикладных работ могут

выступать новые технические решения, предложенные усовершенствования существующих технологий, методов, моделей и т. п.

Оценка возможности

практического использования предполагаемых результатов

Выявляется востребованность результатов проведенной научно-исследовательской работы и конструкторской деятельности. В соответствии с ГОСТ Р 15.101–2021 исполнитель на приемку в числе прочих документов предъявляет

рекомендации и предложения по реализации и использованию результатов НИР. Анализ этого документа позволяет вынести оценочные суждения относительно востребованности результатов НИР на рынке.

Оценка результативности

Оценка результативности осуществляется по следующим параметрам:

- научная результативность. Учитывается количество статей, опубликованных в рецензируемых журналах, а также наличие зарегистрированных патентов, свидетельств на изобретения;
- научно-техническая результативность. Учитываются полученные разработки новых решений, которые могут быть применены в науке или промышленности, оценивается применение научных разработок на практике;
- экономическая результативность. Оцениваются возможные экономические эффекты от внедрения результатов научной работы;
- социальная результативность. Применительно

к проблемам транспортного комплекса данный показатель прежде всего нацелен на оценку удовлетворенности пассажиров качеством обслуживания, улучшением экологической обстановки и т. п.

Результативность научной работы необходимо оценивать комплексно, с учетом всех перечисленных факторов, чтобы получить объективную картину проведенного исследования.

Методы исследования отчетных документов НИР на соответствие поставленным задачам включают в себя как традиционные, так и современные подходы, которые позволяют анализировать содержание, структуру и релевантность текста [9].

Основные методы

Контент-анализ:

- описание: систематический количественный и качественный анализ содержания текста для

выявления ключевых тем, понятий, идей и их частотности;

- применение: позволяет определить, насколько

текст соответствует поставленным задачам, выявить основные акценты и пробелы.

Дискурс-анализ:

- описание: исследование текста в контексте социальных, культурных и языковых особенностей. Анализирует не только содержание, но и то, как оно представлено;
- применение: помогает понять, как текст формирует определенные смыслы и соответствует ли он целевой аудитории и задачам.

Сравнительный анализ:

- описание: сопоставление текста с другими научными работами или источниками для выявления сходств, различий и степени оригинальности;
- применение: позволяет оценить, насколько текст вносит новый вклад в область исследования.

Лингвистический анализ:

- описание: исследование языковых особенностей текста, включая терминологию, стиль, грамматику и синтаксис;
- применение: помогает оценить ясность, точность и соответствие текста научным стандартам.

Библиометрический анализ:

- описание: анализ цитирований, ссылок и использования текста в других научных работах;
- применение: позволяет оценить влияние текста

Выводы

Одним из основных механизмов улучшения качества, эффективности, системности, применимости НИР является экспертная оценка проведенных работ.

Разнообразие НИР в транспортном комплексе, увеличение их количества делает личный опыт эксперта недостаточным и все менее надежным в оценке качества НИР.

Кроме того, это связано с сервисными, вре-

на научное сообщество и его релевантность.

Семантический анализ:

- описание: исследование смысловой структуры текста, включая анализ ключевых понятий, их связей и контекста;
- применение: помогает определить, насколько текст соответствует поставленным задачам и целям.

Когнитивный анализ:

- описание: исследование того, как текст воспринимается читателем, какие когнитивные процессы он активирует;
- применение: позволяет оценить, насколько текст понятен и эффективен для целевой аудитории.

Экспертный анализ:

- описание: оценка текста специалистами в данной области на соответствие научным стандартам, актуальности и глубине исследования;
- применение: позволяет получить квалифицированное мнение о качестве текста.

Структурный анализ:

- описание: исследование композиции текста, включая логику изложения, разделы, подзаголовки и связь между частями;
- применение: помогает оценить, насколько текст логически выстроен и соответствует поставленным задачам.

менными и финансовыми затратами.

Решение этих вопросов видится в применении экспертных автоматизированных систем и технологий искусственного интеллекта.

Проведенный анализ архитектур ЦИЭС, организации и методов проведения экспертизы НИР в Дептрансе функционал эксперта рекомендуется использовать при проектировании, разработке и эксплуатации ЦИЭС в Дептрансе.

Список литературы

1. Буянкин В. М. Разработка системы искусственного нейротеллекта для управления цифровым следящим приводом // Тенденции развития науки и образования. — 2020. — № 62–4. — С. 15–21. — DOI 10.18411/1j-06-2020-74. — EDN QIVWZF (дата обращения: 11.03.2025).

2. Гайдук А. Р. Анализ и аналитический синтез цифровых систем управления. СПб.: Лань, 2018. — EDN ZCGNED (дата обращения: 03.03.2025).

3. Гнездилова А. Ю. Затраты на научно-исследовательские работы как фактор управления инновационной экономикой // Цифровая экономика: перспективы развития и совершен-

ствования: сб. науч. статей Международной научно-практической конференции. Курск, 23 октября 2020 г. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. — С. 57–61. — DOI 10.47581/2020/10.23.PS85/012. — EDN KYGPJZ (дата обращения: 01.03.2025).

4. Дивуева Н. А. Совершенствование организации и проведения научной и научно-технической экспертизы на основе автоматизированных систем экспертного оценивания // Инноватика и экспертиза. — 2011. — Вып. 2 (7) (дата обращения: 24.02.2025).

5. Дмитренко И. П., Краснова Ю. И. Экспертиза НИР // Актуальные проблемы гуманитарных

и естественных наук. — 2015. — № 10–1 (дата обращения: 27.02.2025).

6. Золина Т. В., Купчикова Н. В. Цифровые кейсы как инструмент цифровой трансформации проектной деятельности / Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2023. — № 4 (46). — С. 86–91. — DOI 10.52684/2312–3702–2023–46–4–86–91. — EDN WONVO (дата обращения: 01.03.2025).

7. Катрашова Ю. В. Цифровая трансформация системы управления земельными ресурсами // 72-я международная студенческая научно-техническая конференция: материалы конференции. Астрахань, 18–23 апреля 2022 г. Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2022. — С. 394–395. — EDN QHRYWE (дата обращения: 04.03.2025).

8. Кутепова Н. В. Развитие системы транспортных потоков в Российской Федерации с применением цифрового управления // Молодой ученый. — 2024. — № 47 (546). — С. 14–20. — EDN RSHZYL (дата обращения: 04.03.2025).

9. Митина О. В., Евдокименко А. С. Методы анализа текста: методологические основания и программная реализация // Вестник ЮУрГУ. — 2010. — № 40 (дата обращения: 10.03.2025).

10. Narkevich L. Digital transformation of the information-analytical system for crisis management in enterprise rehabilitation procedures / Sustainable Development and Engineering Economics. — 2022. — No. 1 (3). — P. 8–26. — DOI 10.48554/SDEE.2022.1.1. — EDN ULYCPF (дата обращения: 01.03.2025).

11. Темникова Ю. Ю. Перспективы развития каналов коммуникаций департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы и населения // Барометр экономики, управления и права. — 2023. — № 3 (35). — С. 19–21. — EDN UYXRSD (дата обращения: 21.02.2025).

12. Тихонов И. П., Жиликова Е. В., Хрусталев Е. Ю. Методы экспертизы фундаментальных научных исследований с целью получения новых инновационных продуктов и услуг (опыт государственных научных фондов) // Модели и методы инновационной экономики: сб. науч. трудов. Вып. 2. М.: МАОН, 2010. — С. 180–185 (дата обращения: 20.02.2025).

13. Тузова С. Ю., Горбунова И. Ю., Дивненко О. В., Колышкин В. А. О критериях экспертной оценки качества результатов проектов в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы» // Сов-

ременные инновации. — 2017. — № 1 (15) (дата обращения: 01.03.2025).

14. Юдина Н. П. Лекция «Критерии результатов научного исследования. Актуальность исследования и ее аргументы». <https://spravochnick.ru/lektoriy/kriterii-rezultatov-nauchnogo-issledovaniya-aktualnost-issledovaniya-i-ee-argumenty/> (дата обращения: 24.02.2025).

15. Искусственный интеллект в транспортной системе: перспективы и вызовы // Отчет Министерства транспорта Российской Федерации, 2022 г. — Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/documents/ai-transport-2022.pdf> (дата обращения: 25.02.2025).

16. Стратегия развития искусственного интеллекта в России на 2021–2024 годы // Указ Президента Российской Федерации. 2020. № 490. — Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 04.03.2025).

17. Положение о порядке проведения экспертизы проектов в РГНФ // Материалы официального сайта Российского гуманитарного научного фонда. <http://www.rfh.ru/> (дата обращения: 24.02.2025).

18. Положение об экспертных советах и экспертах РГНФ // Материалы официального сайта Российского гуманитарного научного фонда. <http://www.rfh.ru/> (дата обращения: 20.02.2025).

19. Развитие транспортной системы Москвы: итоги и перспективы // Отчет ГБУ НИИ «МосТрансПроект», 2023 г. — Режим доступа: <https://www.mostransproject.ru/reports/2023> (дата обращения: 24.02.2025).

20. Цифровые технологии в управлении транспортными потоками: опыт Москвы // Отчет Департамента транспорта Москвы, 2023 г. — Режим доступа: <https://transport.mos.ru/digital-transport-2023> (дата обращения: 01.03.2025).

21. Постановление Правительства Москвы «Об утверждении Государственной программы города Москвы» Развитие транспортной системы“» от 02.09.2011 № 408-ПП (ред. от 26.03.2024) (дата обращения: 01.02.2025).

22. Голубенко С. Нейросеть червя в блокчейне и наука с приставкой Pump: новый уровень DeSci. 31.01.2025. — Режим доступа: <https://forklog.com/exclusive/nejroset-cherveya-v-blokchejne-i-nauka-spristavkoj-pump-novuj-uroven-desci> (дата обращения: 01.03.2025).

23. Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» от 23.08.1996 № 127-ФЗ (дата обращения: 01.02.2025).

References

1. Buyankin, V. M. Razrabotka sistemy iskusstvennogo neyrintellekta dlya upravleniya tsifrovym sledyashchim privodom // *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*.— 2020.—No. 62–4.—С. 15–21.—DOI 10.18411/1j-06–2020–74.—EDN QIVWZF (data obrashcheniya 11.03.2025). [Buyankin, V. M. Development of an Artificial Neural Intelligence System for Digital Servo Drive Control // *Trends in the Development of Science and Education*.— 2020.—No. 62–4.—P. 15–21.—DOI 10.18411/1j-06–2020–74.—EDN QIVWZF (accessed 11.03.2025).]
2. Gayduk, A. R. Analiz i analiticheskiy sintez tsifrovyykh sistem upravleniya / Sankt-Peterburg: Izdatelstvo «Lan», 2018.—EDN ZCGNED (data obrashcheniya 03.03.2025). [Gayduk, A. R. Analysis and Analytical Synthesis of Digital Control Systems / St. Petersburg: «Lan» Publishing House, 2018.—EDN ZCGNED (accessed 03.03.2025).]
3. Gnezdilova, A. Yu. Zatraty na nauchno-issledovatel'skie raboty kak faktor upravleniya innovatsionnoy ekonomikoy // *Tsifrovaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya: sbornik nauchnykh statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kursk, 23.10.2020*.—Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2020.—S. 57–61.—DOI 10.47581/2020/10.23.PS85/012.—EDN KYGPJZ (data obrashcheniya 01.03.2025). [Gnezdilova, A. Yu. Costs of Research Work as a Factor in Managing the Innovative Economy // *Digital Economy: Prospects for Development and Improvement: Collection of Scientific Articles of the International Scientific and Practical Conference, Kursk, 23.10.2020*.—Kursk: Southwest State University, 2020.—P. 57–61.—DOI 10.47581/2020/10.23.PS85/012.—EDN KYGPJZ (accessed 01.03.2025).]
4. Divueva, N. A. Sovershenstvovanie organizatsii i provedeniya nauchnoy i nauchno-tekhnicheskoy ekspertizy na osnove avtomatizirovannykh sistem ekspertnogo otsenivaniya // *Innovatika i ekspertiza*.— 2011.—Vyp. 2 (7) (data obrashcheniya 24.02.2025). [Divueva N. A. Improving the Organization and Conduct of Scientific and Scientific-Technical Expertise Based on Automated Expert Assessment Systems // *Innovation and Expertise*.— 2011.—Issue 2 (7) (accessed 24.02.2025).]
5. Dmitrenko, I. P., Krasnova, Yu. I. Ekspertiza NIR. Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk.— 2015.—P. 10–1 (data obrashcheniya 27.02.2025). [Dmitrenko, I. P., Krasnova, Yu. I. Expertise of Research Work // *Actual Problems of Humanities and Natural Sciences*.— 2015.—No. 10–1 (accessed 27.02.2025).]
6. Zolina, T. V., Kupchikova, N. V. Tsifrovyye keysy kak instrument tsifrovoy transformatsii proektnoy deyatel'nosti / *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya*.— 2023.— № 4 (46).—P. 86–91.—DOI 10.52684/2312–3702–2023–46–4–86–91.—EDN WONVO (data obrashcheniya 01.03.2025). [Zolina, T. V., Kupchikova, N. V. Digital Cases as a Tool for Digital Transformation of Project Activities / *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*.— 2023.—No. 4 (46).—P. 86–91.—DOI 10.52684/2312–3702–2023–46–4–86–91.—EDN WONVO (accessed 01.03.2025).]
7. Katrashova, Yu. V. Tsifrovaya transformatsiya sistemy upravleniya zemelnymi resursami / 72-ya Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya: Materialy konferentsii, Astrakhan, 18–23 aprelya 2022 goda.—Astrakhan: Astrakhanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2022.—P. 394–395.—EDN QHRYWE (data obrashcheniya 04.03.2025). [Katrashova, Yu. V. Digital Transformation of the Land Resource Management System / 72nd International Student Scientific and Technical Conference: Conference Materials, Astrakhan, April 18–23, 2022.—Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2022.—P. 394–395.—EDN QHRYWE (accessed 04.03.2025).]
8. Kutepova, N. V. Razvitie sistemy transportnykh potokov v RF s primeneniem tsifrovogo upravleniya / *Molodoy uchenyy*.— 2024.—No. 47 (546).—P. 14–20.—EDN RSHZYL (data obrashcheniya 04.03.2025). [Kutepova, N. V. Development of the Transport Flow System in the Russian Federation with the Application of Digital Control / *Young Scientist*.— 2024.—No. 47 (546).—P. 14–20.—EDN RSHZYL (accessed 04.03.2025).]
9. Mitina, O. V., Evdokimenko, A. S. Metody analiza teksta: metodologicheskie osnovaniya i programmaya realizatsiya. *Vestnik YuUrGU № 40, 2010* (data obrashcheniya 10.03.2025). [Mitina, O. V., Evdokimenko, A. S. Methods of Text Analysis: Methodological Foundations and Software Implementation. *Bulletin of SUSU No. 40, 2010* (accessed 10.03.2025).]
10. Narkevich, L. Digital transformation of the information-analytical system for crisis management in enterprise rehabilitation procedures / *Sustainable Development and Engineering Economics*.— 2022.—No. 1 (3).—P. 8–26.—DOI 10.48554/SDEE.2022.1.1.—EDN ULYCPF (accessed 01.03.2025).

11. Temnikova, Yu. Yu. Perspektivy razvitiya kanalov kommunikatsiy departamenta transporta i razvitiya dorozhno-transportnoy infrastruktury goroda Moskvy i naseleniya / Barometr ekonomiki, upravleniya i prava. — 2023. — No. 3 (35). — P. 19–21. — EDN UYXRSD (data obrashcheniya 21.02.2025). [Temnikova, Yu. Yu. Prospects for the Development of Communication Channels between the Department of Transport and Road Transport Infrastructure Development of Moscow and the Population / Barometer of Economics, Management and Law. — 2023. — No. 3 (35). — P. 19–21. — EDN UYXRSD (accessed 21.02.2025).]

12. Tikhonov, I.P., Zhilyakova, E.V., Khrustalev, E. Yu. Metody ekspertizy fundamentalnykh nauchnykh issledovaniy s tselyu polucheniya novykh innovatsionnykh produktov i uslug (opyt gosudarstvennykh nauchnykh fondov) // Modeli i metody innovatsionnoy ekonomiki: sb. nauch. tr. Vyp. 2. M.: MAON, 2010. — P. 180–185 (data obrashcheniya 20.02.2025). [Tikhonov, I.P., Zhilyakova, E.V., Khrustalev, E. Yu. Methods of Expertise of Fundamental Scientific Research in Order to Obtain New Innovative Products and Services (Experience of State Scientific Foundations) // Models and Methods of Innovative Economy: Collection of Scientific Papers. — Issue 2. Moscow: MAON, 2010. — P. 180–185 (accessed 20.02.2025).]

13. Tsifrovye tekhnologii v upravlenii transportnymi potokami: opyt Moskvy // Otchet Departamenta transporta Moskvy, 2023. — Rezhim dostupa: <https://transport.mos.ru/digital-transport-2023> (data obrashcheniya 01.03.2025). [Digital Technologies in Traffic Management: Moscow's Experience. // Report of the Moscow Transport Department, 2023. — Available at: <https://transport.mos.ru/digital-transport-2023> (accessed 01.03.2025).]

14. Yudina, N.P. Lektsiya «Kriterii rezultatov nauchnogo issledovaniya. Aktualnost issledovaniya i ee argumenty» <https://spravochnick.ru/lektoriy/kriterii-rezultatov-nauchnogo-issledovaniya-aktualnost-issledovaniya-i-ee-argumenty/> (data obrashcheniya 24.02.2025). [Yudina, N.P. Lecture «Criteria for the Results of Scientific Research. Relevance of Research and Its Arguments» <https://spravochnick.ru/lektoriy/kriterii-rezultatov-nauchnogo-issledovaniya-aktualnost-issledovaniya-i-ee-argumenty/> (accessed 24.02.2025).]

15. Iskusstvennyy intellekt v transportnoy sisteme: perspektivy i vyzovy // Otchet Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii, 2022. — Rezhim dostupa: <https://www.mintrans.ru/documents/ai-transport-2022.pdf> (data obrashcheniya 25.02.2025).

[Artificial Intelligence in the Transport System: Prospects and Challenges. // Report of the Ministry of Transport of the Russian Federation, 2022. — Available at: <https://www.mintrans.ru/documents/ai-transport-2022.pdf> (accessed 25.02.2025).]

16. Strategiya razvitiya iskusstvennogo intellekta v Rossii na 2021–2024 gody // Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii. — No. 490. — 2020. — Rezhim dostupa: <http://kremlin.ru/acts/bank/45972> (data obrashcheniya 04.03.2025). [Strategy for the Development of Artificial Intelligence in Russia for 2021–2024 // Decree of the President of the Russian Federation. — No. 490. — 2020. — Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/45972> (accessed 04.03.2025).]

17. Polozhenie o poryadke provedeniya ekspertizy projektov v RGNF // Materialy ofitsialnogo sayta Rossiyskogo gumanitarnogo nauchnogo fonda. <http://www.rfh.ru/> (data obrashcheniya 24.02.2025). [Regulations on the Procedure for Conducting Expertise of Projects in the RHSF // Materials from the Official Website of the Russian Humanitarian Science Foundation. <http://www.rfh.ru/> (accessed 24.02.2025).]

18. Polozhenie ob ekspertnykh sovetakh i ekspertakh RGNF // Materialy ofitsialnogo sayta Rossiyskogo gumanitarnogo nauchnogo fonda. <http://www.rfh.ru/> (data obrashcheniya 20.02.2025). [Regulations on Expert Councils and Experts of the RHSF // Materials from the Official Website of the Russian Humanitarian Science Foundation. <http://www.rfh.ru/> (accessed 20.02.2025).]

19. Razvitie transportnoy sistemy Moskvy: itogi i perspektivy // Otchet GBU NII «MosTransProject», 2023. — Rezhim dostupa: <https://www.mostransproject.ru/reports/2023> (data obrashcheniya 24.02.2025). [Development of Moscow's Transport System: Results and Prospects // Report of the State Budgetary Institution Research Institute «MosTransProject», 2023. — Available at: <https://www.mostransproject.ru/reports/2023> (accessed 24.02.2025).]

20. Tsifrovye tekhnologii v upravlenii transportnymi potokami: opyt Moskvy // Otchet Departamenta transporta Moskvy, 2023 g. - Rezhim dostupa: <https://transport.mos.ru/digital-transport-2023> (data obrashcheniya: 01.03.2025). [Digital Technologies in Traffic Management: Moscow's Experience // Report of the Moscow Department of Transportation, 2023. - Available at: <https://transport.mos.ru/digital-transport-2023> (accessed: 01.03.2025).]

21. Postanovlenie Pravitelstva Moskvy ot 02.09.2011 No. 408-PP (red. ot 26.03.2024) Ob utverzhdenii Gosudarstvennoy programmy goroda Moskvy «Razvitie transportnoy sistemy»

(data obrashcheniya 01.02.2025). [Decree of the Government of Moscow dated 02.09.2011 No. 408-PP (as amended on 26.03.2024) On Approval of the State Program of the City of Moscow «Development of the Transport System» (accessed 01.02.2025).]

22. Golubenko, S. Neyroset chervia v blokcheyne i nauka s prstavkoy Pump: novyy uroven DeSci / 31.01.2025 Rezhim dostupa. <https://forklog.com/exclusive/nejroset-chervya-v-blokcheyne-i-nauka-s-prstavkoj-pump-novyj-uroven-desci> (data obrashcheniya: 01.03.2025). [Golubenko, S. Worm

Neural Network in Blockchain and Science with the Prefix Pump: New Level of DeSci / 31.01.2025.— Available at: <https://forklog.com/exclusive/nejroset-chervya-v-blokcheyne-i-nauka-s-prstavkoj-pump-novyj-uroven-desci> (accessed 01.03.2025).]

23. Federalnyy zakon «Onauke i gosudarstvennoy nauchno-tekhnicheskoy politike» ot 23.08.1996 № 127-FZ (data obrashcheniya 01.02.2025). [Federal Law «On Science and State Scientific and Technical Policy» of 23.08.1996 No. 127-FZ (accessed 01.02.2025).]

Статья получена 12.01.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Гришин Виктор Иванович

доктор экономических наук, профессор,
научный руководитель ГБУ «МосТрансПроект»
SPIN-код: 7840–0563,
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект», г. Москва,
Потаповский пер., д. 3, стр. 1
E-mail: grishinvi@mtp.mos.ru

Джафаров Эдуард Эльчинович

ведущий специалист ГБУ «МосТрансПроект»
SPIN-код: 3672–4947,
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект», г. Москва,
Потаповский пер., д. 3, стр. 1,
E-mail: dzhafarovee@mtp.mos.ru

Information about the authors

Grishin Viktor Ivanovich

Doctor of Economics, Professor, Scientific
Director of SBI «MosTransProject»
SPIN code: 7840–0563
Address: SBI «MosTransProject», Moscow,
Potapovsky Lane, 3, building 1
E-mail: grishinvi@mtp.mos.ru

Dzhafarov Eduard Elchinovich

Lead Specialist of SBI «MosTransProject»
SPIN code: 3672–4947
Address: SBI «MosTransProject», Moscow,
Potapovsky Lane, 3, building 1
E-mail: dzhafarovee@mtp.mos.ru

ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА МОСКВЫ

В. П. Титов

С. Р. Шибяев

ГБУ «МосТрансПроект»

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса Москвы. Отмечено, что инновации играют ключевую роль в экономике любой страны. От того, каков объем инвестиций в инновации, какова доступность и регулярность их поступлений, насколько эффективна инфраструктура рынка инноваций и благоприятно законодательство, регулирующее инновационную деятельность, зависит характер развития экономики. Показана роль государства и субъектов Российской Федерации в развитии инноваций. Подчеркнуто, что привлечение инвестиций в инновационные проекты является важнейшей задачей как для отдельных субъектов предпринимательской деятельности, так и для региона в целом. Подробно рассмотрена программа по развитию московского транспорта, выявлены основные элементы ее инновационного развития. Дано описание инновационных проектов, реализованных в последние годы на московском транспорте.

Ключевые слова: инновации, исследователи, инновационная деятельность, инновационный проект, транспорт, транспортный комплекс, государственная поддержка инноваций.

ISSUES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF MOSCOW'S TRANSPORT COMPLEX

V. P. Titov

S. R. Shibaev

SBI «MosTransProject»

Abstract. This article examines current issues in the innovative development of Moscow's transport complex. It is noted that innovation plays a key role in the economy of any country. The nature of economic development depends on the volume of investments in innovation, their accessibility and regularity, the effectiveness of the innovation market infrastructure, and the favorable legislation regulating innovative activities. The article highlights the role of the state and constituent entities of the Russian Federation in the development of innovations. It emphasizes that attracting investments in innovative projects is an essential task for both individual business entities and the region as a whole. The program for the development of Moscow transport is examined in detail, and the main elements of its innovative development are identified. The article provides a description of innovative projects implemented in recent years in Moscow's transport system.

Keywords: innovations, researchers, innovative activity, innovative project, transport, transport complex, state support for innovations. Issues of innovative development of the Moscow transport complex

Введение

Сегодня транспортная проблема является наиболее существенной для всех мегаполисов мира. Очевидно, что традиционные направления развития транспортной системы практически исчерпали свои возможности. Так, например, расширять дороги уже практически некуда, а для размещения парковок отсутствуют свободные тер-

ритории и т. д. В этой ситуации одним из основных направлений решения транспортных проблем выступает инновационный процесс. Инновации играют ключевую роль в экономике любой страны. От того, каковы масштаб и широта применения инноваций, какова их регулярность, насколько благоприятно законодательство, регулирующее

инновационную деятельность, во многом зависит характер развития экономики. Поэтому вопрос развития инновационной деятельности является важнейшей задачей как для отдельных субъектов предпринимательской деятельности, так и для всей экономики в целом. Велика роль в этом региональных и местных органов власти.

Метод

Целью настоящего исследования является обобщение и систематизация опыта разработки и внедрения инновационных проектов на транспорте, оценка роли субъектов Российской Федерации в развитии инновационных процессов как в регионе в целом, так и в отдельных отраслях хозяйственной деятельности на примере транспортного комплекса Москвы.

Гипотезой исследования является представление о том, что в современных условиях важнейшая роль на рынке инноваций принадлежит государству. Только государство способно, используя комплекс организационно-экономических инструментов, обеспечить стимулирование спроса на инновации.

Результаты и обсуждение

Развитие инновационной деятельности, формирование и развитие рынка инноваций, расширение его участников, появление новых инструментов и объектов инновационной деятельности, переход к индустрии инноваций говорят о том, что инновационная деятельность является мировым трендом, определяющим характер развития экономики. Инновации в широком смысле слова — это процесс, интегрирующий различные аспекты экономической и научной деятельности, направленные на получение новых продуктов и методов управления, сопровождаемых кумулятивными эффектами (в том смысле, что нельзя сводить инновационную деятельность только к вопросам получения прибыли на вложенные средства). Вопросы, связанные с развитием теории инноваций, широко обсуждаются в научной литературе, имеются различные подходы к определению инноваций, их классификации [1–3]. В настоящей статье отметим лишь, что переход организаций на инновационный путь развития в значительной степени является вынужденным. Побудительными мотивами здесь выступают высокая конкуренция на рынке и значительные трудности обеспечения роста капитала за счет традиционных факторов [4].

Инновации как инструмент развития обеспечивают свою наибольшую эффективность при наличии необходимых ресурсов. Состав и соотношение этих ресурсов в зависимости от целей

Системное внедрение инноваций позволяет не только интегрировать новые технологические решения в транспортную систему, но и выводить транспортную отрасль на совершенно новый уровень, меняя в корне привычную организацию транспортной системы.

Основными методами явились анализ материалов научных исследований проблем транспортного комплекса, проведенных ведущими университетами Москвы по заказу Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы. Для работы с актуальными публикациями по данной проблематике использовалась российская библиографическая база РИНЦ.

Обоснование теоретических положений и аргументация выводов осуществлялись на основе применения общенаучных и специальных методов исследования.

и масштабов инновационного проекта могут меняться [5].

Специалисты, занимающиеся оценкой инновационного потенциала регионов, для обеспечения полноты и валидности исследований используют большое количество различных показателей [6]. Важнейшими из них являются показатели, характеризующие уровень развития научных исследований, объем инвестиций в инновации и кадровый потенциал. Анализ этих показателей позволяет оценить уровень и направления инновационного развития региона, понять существо имеющихся проблем.

Москва обладает всеми необходимыми ресурсами для того, чтобы продуктивно реализовывать политику инновационного развития. Прежде всего необходимо отметить наличие значительного научного и кадрового потенциала. В Москве насчитывается 825 организаций, которые выполняют исследования и разработки, что составляет порядка 20% от общероссийского количества. Москва значительно превосходит все остальные регионы России по численности исследователей. В Москве более 200 тыс. ученых заняты в сфере исследований и разработок, при этом 113 тыс. из них это собственно исследователи. Для сравнения, в Санкт-Петербурге, являющимся крупнейшим центром науки и образования, насчитывается 39 тыс. исследователей, что почти в три раза меньше, чем в Москве.



Рис. 1. Научный и кадровый потенциал города Москвы

В Москве сосредоточена пятая часть вузов страны, в том числе все ведущие транспортные университеты. В целом научный потенциал Москвы представлен на рис. 1. Все перечисленные составляющие научного потенциала в совокупности создают необходимые условия для научно-технологического развития экономики Москвы, в том числе опережающего развития транспортной отрасли.

В настоящее время научное обоснование экономических, организационных и технико-технологических решений в транспортном обслуживании на территории города формируется за счет деятельности научно-исследовательских, проектных организаций транспортного комплекса, а также за счет результатов научных работ, выполняемых высшими учебными заведениями по заказу Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы [7, 8].

Вместе с тем следует отметить, что существующие сегодня модели и механизмы организационного управления транспортной наукой, способной отвечать на новые современные вызовы, а также направления ее развития требуют постоянного развития и совершенствования. На наш взгляд, пока в неполной мере используется потенциал высших учебных заведений. Это проявляется в том, что проводимые вузами научные исследования по проблемам развития транспорта в большинстве случаев являются фрагментарными, не объединены единой концептуальной и целенаправленной основой и ориентированы главным образом на решение текущих сугубо прикладных задач. Короткий горизонт планирования научных исследований не позволяет формировать

долгосрочные планы научных исследований, что снижает эффективность разработок и прежде всего их инновационную направленность. Еще одной проблемой, сдерживающей участие университетов в решении задач инновационного развития транспортного комплекса, является информационная асимметрия. Проблема связана с тем, что есть достаточно большой разрыв между тем, как понимаются проблемы транспортного комплекса и их научное решение руководством Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы и, с другой стороны, как это понимается научными коллективами университетов.

В связи с этим очевидна необходимость поддержки коммуникаций специалистов внутри и за пределами Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы. В настоящее время в качестве научного коммуникатора выступает ГБУ «МосТрансПроект», которое поддерживает стабильные научные связи с научными центрами и ведущими университетами Москвы. В этом качестве оно выполняет информационно-консультационные функции, обрабатывая большое количество заявок, технических заданий на научно-исследовательские работы, поданные в инициативном порядке научными организациями и университетами. Практика показывает, что этого недостаточно. Необходимо формировать и другие механизмы научных коммуникаций, такие как базовые кафедры, научные центры и т. п.

Другим важным фактором развития инноваций является наличие необходимых финансовых ресурсов и условий доступа к ним.

Таблица 1

Факторы, сдерживающие рост инновационной деятельности, по оценке участников рынка, 2022 год, %

Участник рынка	Недостаток собственных денежных средств	Высокая стоимость нововведений	Недостаток поддержки со стороны государства	Недостаток кредитов и прямых инвестиций	Недостаток квалифицированного персонала
Москва	7,5	6,2	3,6	2,8	2,8
Россия	9,2	7,8	5,5	3,4	3,9
Австрия	7,2	10,2	7,4	3,6	18,6
Болгария	11,8	18,7	13,7	6,8	12,4
Венгрия	14,6	22,5	16,8	8,8	17,1
Греция	29,9	28,5	29,3	25,8	15,5
Испания	9,7	26,6	19,9	12,7	14,6
Словакия	11,1	26,0	19,1	11,6	14,9
Турция	27,4	55,5	25,9	22,8	22,2
Франция	20,1	20,7	17,4	15,9	19,6

Источник: Москва: наука и инновации. Агентство инноваций Москвы: стат. сборник, 2023.

В табл. 1 представлена субъективная оценка участниками рынка инноваций существующих в их странах условий, которые определяют возможности инновационной деятельности [10, 11]. Оценка, которую дают московские организации, самая позитивная. Показано, что оценка ресурсной базы развития инноваций самая высокая как в целом по России, так и по всем странам, представленным в выборке. С другой стороны, если посмотреть объем затрат на научные исследования, то Россия по объему затрат по паритету покупательной способности находится на 10-м месте и в разы отстает по этому показателю от США и Китая, в 1,5 раза — от Франции (диаграмма — рис. 2). При этом, на первый взгляд, парадоксально выглядит оптимистичное настроение участников инновационного рынка Москвы по отношению к доступу к необходимым ресур-

сам (табл. 1). Однако если посмотреть структуру вложений в инновации по формам собственности (диаграмма — рис. 3), то увидим, что в США и Китае доля инвестиций со стороны государства составляет порядка 19%, у Франции — 32,5. У Москвы этот показатель составляет 75%, остальное приходится на предпринимательский сектор и иные организации. Возможно, фактор подавляющего государственного участия в осуществлении инвестиций в инновационную деятельность определяет высокий уровень оптимизма у участников этого рынка. Эта уверенность основывается, во-первых, на наличии стабильного финансирования инновационных разработок, а во-вторых, опирается на последовательную, продуманную и долговременную политику инновационного развития, которую осуществляет Правительство Москвы.

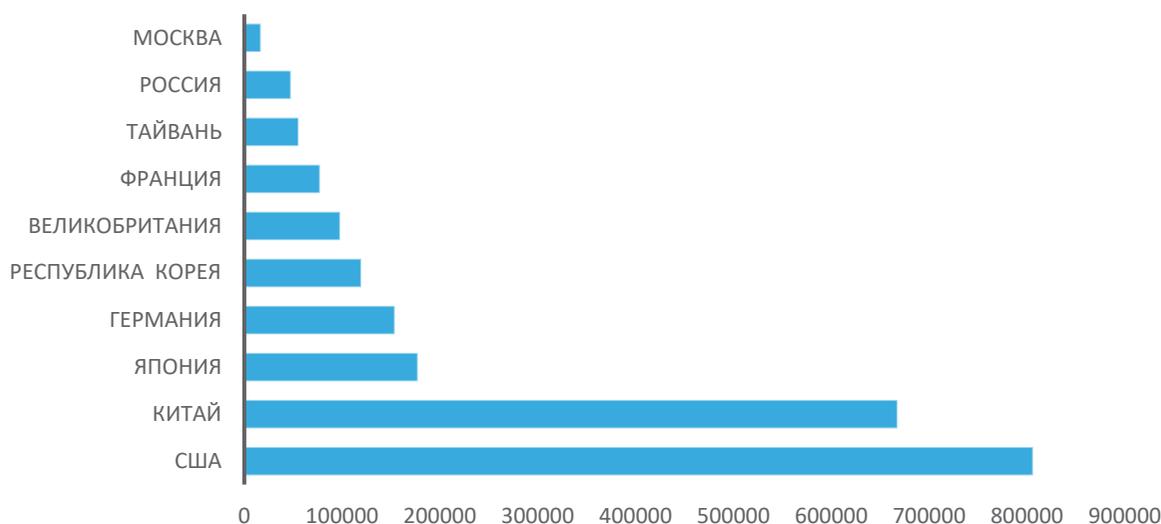


Рис. 2. Диаграмма внутренних затрат на исследования и разработки в расчете по паритету покупательной способности национальных валют по странам, млн долл.¹

¹ Москва: наука и инновации. Агентство инноваций Москвы: стат. сборник, 2023.

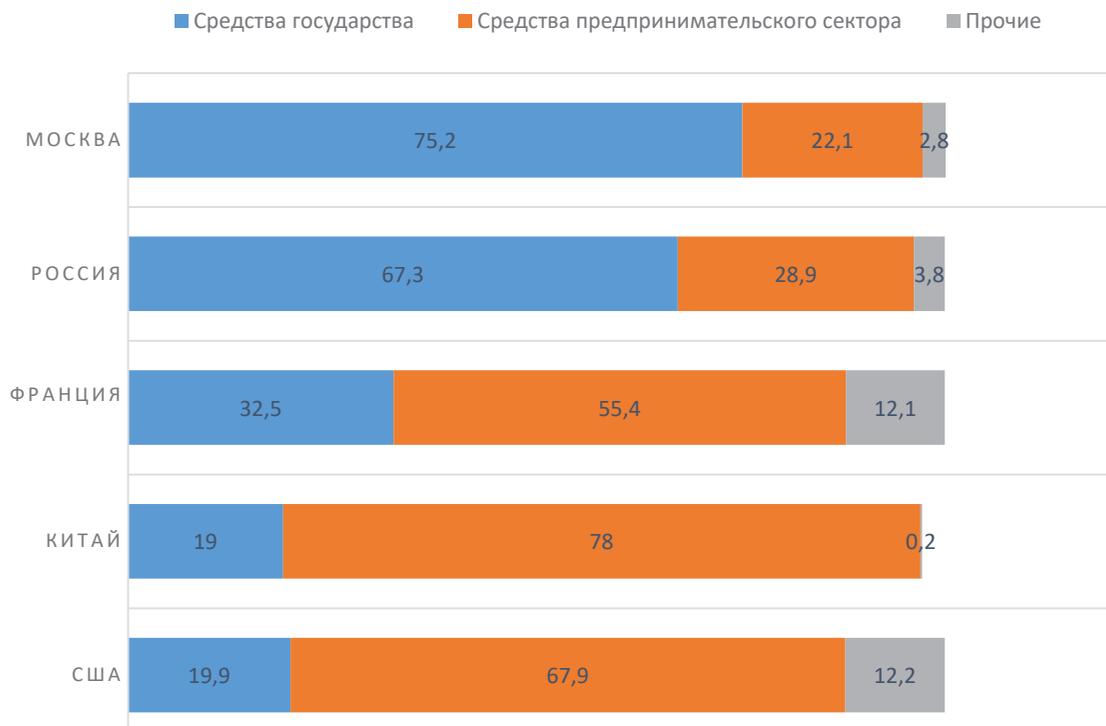


Рис. 3. Диаграмма структуры затрат на исследования по источникам финансирования по странам, 2022 год, %²

На примере развития транспортного комплекса Москвы можно оценить, как работает инновационная экосистема города [12, 13]. Можно констатировать, что Москва имеет все необходимые ресурсы для дальнейшего совершенствования

системы городского транспорта. Подтверждением этому является графическое изображение стабильного финансирования транспортной отрасли из бюджета города (рис. 4).

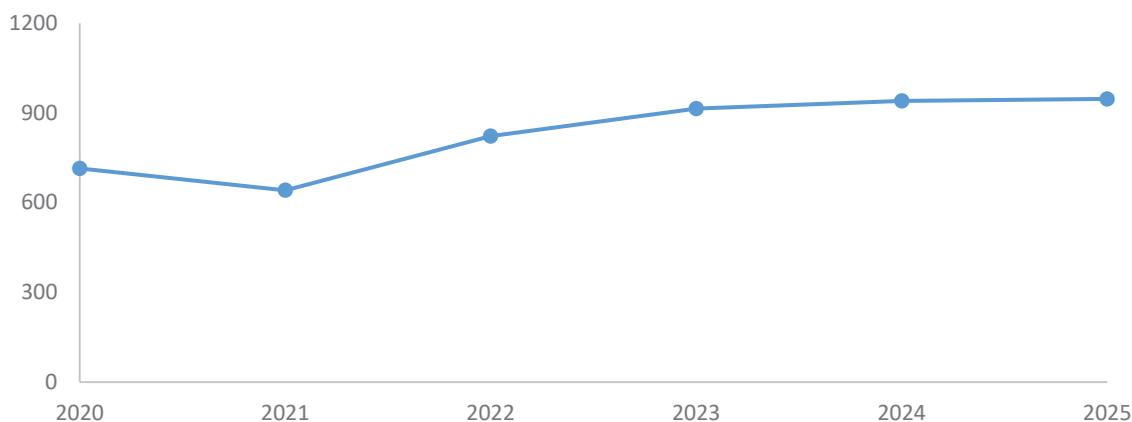


Рис. 4. Расходы бюджета Москвы на транспорт, млрд руб.³

Правительство Москвы системно и последовательно решает проблемы транспортного комплекса. В 2011 году была утверждена Государственная программа города Москвы «Развитие транспортной системы», в результате реализации которой практически создана новая транспортная инфраструктура. В ходе реализации предусмотренных Государственной программой мероприятий по развитию

транспортной системы города Москвы существенно возросли протяженность линий и количество станций метрополитена, активно строились и реконструировались дороги, качество обслуживания которых заметно улучшилось. Оптимизирована маршрутная транспортная сеть наземного городского пассажирского транспорта, что позволило значительно повысить его эффективность, прове-

² Москва: наука и инновации. Агентство инноваций Москвы: стат. сборник, 2023.

³ Аналитический центр Москвы. Мониторинг отраслей. Транспорт. as-mos.ru.

дено обновление подвижного состава и началось развитие железнодорожного транспорта, созданы пешеходное и велосипедное пространства.

В конце 2023 года мэром Москвы С. С. Собяниным была поставлена задача разработать базовые отраслевые программы развития Москвы до 2030 года и в том числе программу модерни-

зации и развития транспортной системы Москвы до 2030 года⁴. Программа включает в себя 15 ключевых подпрограмм, охватывающих практически все аспекты функционирования транспортной системы российской столицы (рис. 5). Новая программа направлена на дальнейшее развитие транспортного комплекса Москвы.



Рис. 5. Программа развития транспортного комплекса Москвы до 2030 года. Виды подпрограмм

В новой программе, как и в предыдущей, основное внимание уделено развитию транспортной инфраструктуры. Так, в части метро планируется активное строительство новых линий и станций. К 2030 году протяженность сети вырастет на 88 километров, появится 39 новых станций и четыре депо. К 2030 году общее количество станций метро достигнет 517. Это позволит существенно увеличить транспортную доступность для жителей Москвы. Например, более одного миллиона пассажиров смогут сэкономить от 10 до 30 минут ежедневно на поездках по городу.

Большое внимание уделено развитию наземного рельсового транспорта. Планируется строительство новых линий общей протяженностью более 10 километров, обновление инфраструктуры и подвижного состава. Благодаря этому к 2030 году средняя скорость трамваев вырастет до 18 км/ч в час пик, а ежедневный пассажиропоток увеличится до одного миллиона человек.

Центральный транспортный узел — это территория Москвы и прилегающих 11 регионов Центральной России с населением более 31 миллиона человек. К 2030 году здесь планируется перейти к тактовому движению пригородных электропоездов с интервалом 20–30 минут. Это значительно

увеличит транспортную мобильность жителей и сэкономит им до 35 минут в день на поездках.

Что касается московских центральных диаметров, то предусмотрены меры по увеличению скорости их движения, развитию инфраструктуры и подвижного состава.

Еще один масштабный проект, который реализуется в рамках подпрограммы, — это организация высокоскоростного железнодорожного сообщения между Москвой и Санкт-Петербургом. После запуска ВСМ-1 время в пути между городами сократится почти вдвое и составит 2 часа 15 минут. Прогнозируемый пассажиропоток достигнет 23 млн человек в год.

В новой программе развития до 2030 года фокус смещается на улучшение транспортной связности отдельных районов города и организацию удобных подъездов к станциям метро, МЦК и МЦД. Планируется построить еще более 300 км дорог. Эти меры позволят более 300 тыс. пассажиров быстрее добираться до рельсового транспорта.

Развитие транспортной инфраструктуры следует рассматривать как существенную составляющую общей политики города, направленной на создание нового качества жизни за счет повы-

⁴ Сергей Собянин. Личный блог. Стратегия развития Москвы 2030.

шения безопасности, мобильности и доступности транспортных услуг [14]. Это дает основание рассматривать инвестиции в транспортную инфраструктуру как стратегические инновации, которые изменяют в лучшую сторону качество жизни граждан и создают необходимую техническую базу для создания и внедрения технологических и процессных инноваций.

Относительно технологических и процессных инноваций, планируемых к реализации, следует отметить, что их направленность соответствует общемировым трендам. Это цифровизация процессов, автономность, экологичность, интеллектуальное управление.

Среди наиболее значимых проектов следует выделить проект развития электротранспорта. Его особенностью является комплексный подход, который характеризуется тем, что развитие направлено на все виды транспорта. Москва уже сегодня лидер в Европе по количеству электробусов, а к 2030 году 100% транспортной работы в городе будет выполняться на экологичных электробусах. Возрастет к 2030 году доля электрокаров с сегодняшних 0,2% до 7% всего автопарка. Началась замена дизельных судов на электрические. Специалисты отмечают, что использование судов на электротяге в условиях нашей страны имеет ряд преимуществ по сравнению с другими современными видами речного транспорта [15]. Можно смело говорить, что это уникальный проект, который является одним из самых инновационных и лучших в мире.

Одной из важнейших задач является создание интеллектуальной транспортной системы на основе искусственного интеллекта. К 2030 году она должна охватить более 40% всей транспортной инфраструктуры.

Система будет анализировать большие объ-

емы данных о трафике, прогнозировать пробки и заторы. А затем вырабатывать оптимальные управляющие решения, например менять светофорные циклы, перенаправлять потоки.

В итоге это позволит на 15% увеличить пропускную способность московских дорог к 2030 году. Время в пути сократится на 30%.

Кроме того, искусственный интеллект будет автоматически фиксировать нарушения правил дорожного движения, а также предупреждать водителей и пешеходов об опасных ситуациях. Это даст 10% снижения аварийности и соответственно снизит смертность на московских дорогах в 3,6 раза по сравнению с 2010 годом.

Большое внимание уделяется развитию сервисов для пассажиров — навигации, информированию, наличию комфортных остановочных пунктов и т. д.

Анализ показывает ведущую роль города в развитии транспортного комплекса Москвы. Обладая необходимыми ресурсами, город выступает не только в качестве заказчика инноваций, но и в качестве организатора рынка инноваций. Это позволяет последовательно и планомерно осуществлять проекты инновационного развития транспортной отрасли. С общеэкономических позиций это объясняется тем, что осуществить быстрый и качественный подъем экономики как стихийный рыночный процесс в разумные сроки и с позиций конкуренции между странами просто невозможно. Он должен направляться и управляться государством на основе его материальных ресурсов. Этот переход невозможен без создания в необходимых размерах системы государственного планирования и управления инвестиционным процессом, что, собственно, и демонстрирует Москва.

Заключение

Проведенный в настоящей статье анализ направлений и особенностей инновационного развития транспортного комплекса Москвы позволил сделать ряд заключений:

В Москве сформировался и успешно развивается рынок инноваций [10, 11, 16]. Москва на рынке инноваций выступает одновременно в двух ипостасях: с одной стороны, как организатор, формируя направления инновационной деятельности в соответствии с мировыми трендами, а с другой — выступает как основной заказчик инноваций, выделяя гранты и субсидии на их финансирование.

Сформировавшаяся в Москве модель инно-

вационного развития транспортного комплекса носит ярко выраженный социальный характер. Город, выступая заказчиком инноваций, в качестве первоочередных задач инновационной деятельности рассматривает вопросы безопасности, экологии, комфорта и доступности общественного транспорта.

Московская транспортная система показывает постоянный и динамичный рост всех основных показателей своей деятельности. Происходят не только количественные, но и значительные качественные изменения. Подтверждением этому являются высокие рейтинги, которые стабильно получает город по результатам исследований,

проводимых научными организациями и рейтинговыми агентствами. Исследователи отмечают, что рейтинговые показатели дают взвешенную и объективную оценку эффективности инновационной деятельности [17, 18].

Эффективность инвестиций в инновации во многом зависит от эффективности организации научных исследований в интересах транспортного комплекса Москвы [18]. Ведь любые инновации — это конечные результаты научной деятельности. В связи с этим совершенно очевидно, что необходимо повышать эффективность научных разработок. Исследовательская деятельность должна быть направлена как на решение текущих задач транспортной отрасли и выполнение

прикладных разработок, так и на развитие фундаментальных научных исследований. Результаты этой деятельности должны быть ориентированы на научное и экспертное сопровождение программ развития транспортного комплекса, а также предпринимательских проектов, на реализацию полного цикла создания новых продуктов и услуг и совершенствование нормативно-правовой базы транспортной отрасли.

При этом одним из важнейших условий решения поставленных задач является преодоление разрозненности научно-экспертного сообщества. Необходима организация совместной работы отраслевой и вузовской науки, других заинтересованных организаций.

Список литературы

1. Александрова А. И., Зайцев А. А. Трансформация теории инновационного развития: эволюция и современные институциональные тенденции // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 10–3. С. 251–262. <https://vael.ru/ru/article/view?id=1373>.
2. Черенков В. И., Марьяненко В. П., Черенкова Н. И. Развитие теории инноваций: некоторые проблемы // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2019. № 1. С. 3–29. <https://doi.org/10.38050/01300105201911>.
3. Дроздов Д. В., Шагалова Т. В. Специфика развития теории инноваций в отечественной и зарубежной практике // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Т. 13. № 8А. С. 46–58. DOI: 10.34670/AR.2023.94.60.054.
4. Шибаев С. Р. Проблемы инновативности российской экономики // Креативная экономика. 2010. Т. 4. № 11. С. 3–8.
5. Харин А. А. Терминология управления ресурсным обеспечением инновационной деятельности // Журнал исследований по управлению. 2018. Т. 4. № 6. DOI <https://doi.org/10.12737/issn.2500-3291>.
6. Вторьгин А. С. О классификации регионов Российской Федерации по уровню социально-экономического развития и индексу инновационной активности // Статистика и экономика. 2024. № 21 (2). С. 50–59. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2024-2-50-59>.
7. Шпак А. С., Рыжая А. А., Беляков С. А. Университетская наука в научно-технологическом развитии: эволюция государственной политики, отечественный опыт и международная практика // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 12–1. С. 200–212. <https://vael.ru/ru/article/view?id=1985>.
8. Носков А. А. Влияние научно-инновационной деятельности вузов на инновационное развитие регионов (пример Приволжского федерального округа): монография / А. А. Носков, Е. А. Третьякова. Пермь, 2020.
9. Исакова Е. В. Качественно-количественный анализ состояния развития города Москвы на примере транспортно-логистической политики / Е. В. Исакова, Е. А. Ступникова, Н. В. Капустина, А. В. Климочкин // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № s2. <https://esj.today/PDF/48FAVN223.pdf>.
10. Кривчанская А. В. Особенности рынка инноваций // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2017. № 11. <https://ekonomika.snauka.ru/2017/11/15430> (дата обращения: 30.01.2025).
11. Бурлаков В. В., Кемпа В. С. Особенности российского рынка инноваций и его дальнейшее развитие на основе концепции инжиниринга изменений // Наука и искусство управления / Вестник Института экономики, управления и права РГГУ. 2022. № 1. С. 49–62. DOI: 10.28995/2782-2222-2022-1-49-62.
12. Бессонова Е. А., Батталов Р. М. Формирование инновационной экосистемы в условиях цифровизации // RUSSIAN JOURNAL OF MANAGEMENT. 2021. Т. 9. № 1.
13. Леденева М. В., Плаксунова Т. А. Формирование инновационной экосистемы в регионах Российской Федерации (на примере Волгоградской области) // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 484–492. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-484-492.
14. Чеченова Л. М. Устойчивое развитие

транспортной отрасли на базе систем искусственного интеллекта // Бюллетень результатов научных исследований. 2021. Вып. 4. С. 125–138. DOI: 10.20295/2223–9987–2021–4–125–138.

15. Пумбрасова Н. В., Упадышева Е. В. Инновации в экономическом развитии речного туризма как основа мультипликативного эффекта в развитии малых городов // Научные проблемы водного транспорта / Russian Journal of Water Transport. 2022. № 71(2). DOI: 10.37890/jwt.vi71.264.

16. Беляков Р. А. Экономическая сущность и функции рынка инновационных технологий // Фундаментальные исследования. 2015. № 6–1. С. 95–98; <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38400>.

17. Абдулова С. Ю. Мировые рейтинги как инструмент оценки эффективности инвестиций в инновации и выбора стратегии развития // Вестник АГТУ. Серия: Экономика. 2022. № 2. Отраслевая и региональная экономика: проблемы и механизмы управления. Научная статья <https://doi.org/10.24143/2073–5537–2022–2–76–88>.

18. Ряпухина В. Н. Оценка эффективности инновационного развития регионов: методика и построение рейтинга // Вопросы инновационной экономики. 2018. Т. 8. № 3. С. 391–404. doi: 10.18334/vinec.8.3.39300.

19. Титов В. П. Оценка эффективности инвестиционных проектов в сфере общественного транспорта (на примере метрополитена) // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXIV Всероссийского симпозиума. Москва, 11–12 апреля 2023 г. / Под ред. чл.-корр. РАН Г. Б. Клейнера. М.: ЦЭМИ РАН, 2023. С. 490–493. DOI:10.34706/978–5–8211–0814–2–ы2–49. EDN: BXFC.

20. Малышев М. И. Инновации в области городского общественного транспорта и перспективы внедрения принципов новой мобильности // Научный вестник МГТУ ГА. 2022. № 25. № 3. С. 36–50. <https://doi.org/10.26467/2079–0619–2022–25–3–36–50>.

21. Лаптев М. Г. Современные особенности развития инвестиционного механизма регулирования отраслевой структуры транспорта в Московской области // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 1. <https://esj.today/PDF/78FAVN123.pdf>.

22. Артемова О. В., Зубкова А. В., Жилина Т. А., Маскайкин Е. П. Теоретические и методологические основы управления инновационной деятельностью субъектов различного уровня хозяйствования // Социум и власть. 2018. № 1 (69). С. 55–64.

References

1. Aleksandrova, A.I., & Zaytsev, A.A. (2020). Transformatsiya teorii innovatsionnogo razvitiya: evolyutsiya i sovremennye institutsional'nye tendentsii [Transformation of the theory of innovative development: evolution and modern institutional trends]. Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 10-3, 251-262. <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1373>

2. Cherenkov, V.I., Mar'yanenko, V.P., & Cherenkova, N.I. (2019). Razvitie teorii innovatsiy: nekotorye problemy [Development of innovation theory: some problems]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika [Moscow University Bulletin. Series 6. Economics], 1, 3-29. <https://doi.org/10.38050/01300105201911>

3. Drozdov, D.V., & Shagalova, T.V. (2023). Spetsifika razvitiya teorii innovatsiy v otechestvennoy i zarubezhnoy praktike [Specifics of the development of innovation theory in domestic and foreign practice]. Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: Yesterday, Today, Tomorrow], 13(8A), 46-58. DOI: 10.34670/AR.2023.94.60.054

4. Shibaev, S.R. (2010). Problemy innovativnosti

rossiyskoy ekonomiki [Problems of innovativeness of the Russian economy]. Kreativnaya ekonomika [Creative Economy], 4(11), 3-8.

5. Kharin, A.A. Terminologiya upravleniya resursnym obespecheniem innovatsionnoy deyatel'nosti [Terminology of resource management for innovative activities]. Zhurnal issledovaniy po upravleniyu [Journal of Management Research], 4(6). DOI: <https://doi.org/10.12737/issn.2500-3291>

6. Vtorygin, A.S. (2024). O klassifikatsii regionov Rossiyskoy Federatsii po urovnyu sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya i indeksu innovatsionnoy aktivnosti [On the classification of regions of the Russian Federation by the level of socio-economic development and the index of innovative activity]. Statistika i ekonomika [Statistics and Economics], 21(2), 50-59. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2024-2-50-59>

7. Shpak, A.S., Ryzhaya, A.A., & Belyakov, S.A. (2021). Universitetskaya nauka v nauchno-tekhnologicheskoy razvitii: evolyutsiya gosudarstvennoy politiki, otechestvennyy opyt i mezhdunarodnaya praktika [University science in scientific and technological development: evolution

of state policy, domestic experience and international practice]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law], 12-1, 200-212. <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1985>

8. Noskov, A.A., & Tret'yakova, E.A. (2020). *Vliyanie nauchno-innovatsionnoy deyatel'nosti vuzov na innovatsionnoe razvitie regionov (primer Privolzhskogo federal'nogo okruga)* [Influence of scientific and innovative activities of universities on the innovative development of regions (example of the Volga Federal District)]. [Electronic resource]: monograph; Perm State National Research University. Perm, 239 p.

9. Isakova, E.V., Stupnikova, E.A., Kapustina, N.V., & Klimochkin, A.V. (2023). *Kachestvenno-kolichestvennyy analiz sostoyaniya razvitiya goroda Moskvy na primere transportno-logisticheskoy politiki* [Qualitative and quantitative analysis of the state of development of the city of Moscow on the example of transport and logistics policy]. *Vestnik evraziyskoy nauki* [Bulletin of Eurasian Science], 15(s2). URL: <https://esj.today/PDF/48FAVN223.pdf>

10. Krivchanskaya, A.V. (2017). *Osobennosti rynka innovatsiy* [Features of the innovation market]. *Ekonomika i menedzhment innovatsionnykh tekhnologiy* [Economics and Management of Innovative Technologies], 11. URL: <https://ekonomika.snauka.ru/2017/11/15430> (accessed: 30.01.2025)

11. Burlakov, V.V., & Kempa, V.S. (2022). *Osobennosti rossiyskogo rynka innovatsiy i ego dal'neyshee razvitie na osnove kontseptsii inzhiniringa izmeneniy* [Features of the Russian innovation market and its further development based on the concept of change engineering]. *Nauka i iskusstvo upravleniya / Vestnik Instituta ekonomiki, upravleniya i prava Rossiyskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta* [Science and Art of Management / Bulletin of the Institute of Economics, Management and Law of the Russian State University for the Humanities], 1, 49-62. DOI: 10.28995/2782-2222-2022-1-49-62

12. Bessonova, E.A., & Battalov, R.M. (2021). *Formirovanie innovatsionnoy ekosistemy v usloviyakh tsifrovizatsii* [Formation of an innovative ecosystem in the context of digitalization]. *Russian Journal of Management*, 9(1).

13. Ledeneeva, M.V., & Plaksunova, T.A. (2018). *Formirovanie innovatsionnoy ekosistemy v regionakh Rossiyskoy Federatsii (na primere Volgogradskoy oblasti)* [Formation of an innovative ecosystem in the regions of the Russian Federation (on the example of the Volgograd region)]. *Vestnik VGUET* [Bulletin of VSUET], 80(4), 484-492.

doi:10.20914/2310-1202-2018-4-484-492

14. Chechenova, L.M. (2021). *Ustoychivoe razvitie transportnoy otrasli na baze sistem iskusstvennogo intellekta* [Sustainable development of the transport industry based on artificial intelligence systems]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of Scientific Research Results], 4, 125-138. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-4-125-138

15. Pumbrasova, N.V., & Upadysheva, E.V. (2022). *Innovatsii v ekonomicheskom razviti rechnogo turizma kak osnova mul'tiplikativnogo effekta v razviti malykh gorodov* [Innovations in the economic development of river tourism as the basis of the multiplicative effect in the development of small towns]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta / Russian Journal of Water Transport*, 71(2). DOI: 10.37890/jwt.vi71.264

16. Belyakov, R.A. (2015). *Ekonomicheskaya sushchnost' i funktsii rynka innovatsionnykh tekhnologiy* [Economic essence and functions of the innovative technologies market]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 6-1, 95-98. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38400>

17. Abdulova, S.Yu. (2022). *Mirovye reytingi kak instrument otsenki effektivnosti investitsiy v innovatsii i vybora strategii razvitiya* [World ratings as a tool for evaluating the effectiveness of investments in innovation and choosing a development strategy]. *Vestnik AGTU. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of ASTU. Series: Economics], 2. <https://doi.org/10.24143/2073-5537-2022-2-76-88>

18. Ryapukhina, V.N. (2018). *Otsenka effektivnosti innovatsionnogo razvitiya regionov: metodika i postroenie reytinga* [Evaluation of the effectiveness of innovative development of regions: methodology and rating construction]. *Voprosy innovatsionnoy ekonomiki* [Issues of Innovative Economy], 8(3), 391-404. doi: 10.18334/vinec.8.3.39300

19. Titov, V.P. (2023). *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov v sfere obshchestvennogo transporta (na primere metropolitena)* [Evaluation of the effectiveness of investment projects in the field of public transport (on the example of the metro)]. *Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatiy: materialy XXIV Vserossiyskogo simpoziuma* [Strategic planning and development of enterprises: materials of the XXIV All-Russian Symposium]. Moscow, April 11-12, 2023. Ed. by G.B. Kleiner. Moscow: CEMI RAS, 490-493. DOI:10.34706/978-5-8211-0814-2-2-49

20. Malyshev, M.I. (2022). *Innovatsii v oblasti gorodskogo obshchestvennogo transporta*

i perspektivy vnedreniya printsipov novoy mobil'nosti [Innovations in urban public transport and prospects for implementing the principles of new mobility]. Nauchnyy vestnik MGTU GA [Scientific Bulletin of MSTU CA], 25(3), 36-50. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2022-25-3-36-50>

21. Laptev, M.G. (2023). Sovremennye osobennosti razvitiya investitsionnogo mekhanizma regulirovaniya otraslevoy struktury transporta v Moskovskoy oblasti [Modern features of the development of the investment mechanism for regulating the sectoral structure of transport in the

Moscow region]. Vestnik evraziyskoy nauki [Bulletin of Eurasian Science], 15(s1). URL: <https://esj.today/PDF/78FAVN123.pd>

22. Artemova, O.V., Zubkova, A.V., Zhilina, T.A., & Maskaykin, E.P. (2018). Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy upravleniya innovatsionnoy deyatelnost'yu sub»ektov razlichnogo urovnya khozyaystvovaniya [Theoretical and methodological foundations of innovation management for entities of various economic levels]. Sotsium i vlast' [Society and Power], 1(69), 55-64.

Статья получена 10.02.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Титов Владимир Павлович
директор ГБУ «МосТрансПроект»
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект»,
101000, г. Москва,
Потаповский переулок, д. 3, стр. 1
E-mail: TitovVP@mos.ru

Шibaев Сергей Рафаилович
кандидат экономических наук, доцент, главный
научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»
Адрес: ГБУ «МосТрансПроект»
101000, г. Москва,
Потаповский переулок, д. 3, стр. 1
ORCID: 0009-0002-2441-3785
E-mail: ShibaevSR@mtp.mos.ru

Information about the authors

Titov Vladimir Pavlovich
Director of State Budgetary Institution
«MosTransProject»
Address: SBI «MosTransProject»,
101000, Moscow,
Potapovsky Lane, 3, building 1
E-mail: TitovVP@mos.ru

Shibaev Sergey Rafailovich
Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor, Chief Researcher at State Budgetary
Institution «MosTransProject»
Address: SBI «MosTransProject»
101000, Moscow,
Potapovsky Lane, 3, building 1
ORCID: 0009-0002-2441-3785
E-mail: ShibaevSR@mtp.mos.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОГО ТРАНСПОРТА В УЗБЕКИСТАНЕ

К. Х. Абдурахманов

Академия наук Республики Узбекистан

Аннотация. В статье анализируется экономическая эффективность внедрения экологичного транспорта в Узбекистане, учитывая глобальные тенденции и международный опыт. Рассматриваются государственные меры стимулирования использования электромобилей, включая налоговые льготы, развитие зарядной инфраструктуры и локализацию производства. Приводится динамика импорта электромобилей, оценка сокращения выбросов CO₂ и социально-экономические выгоды. Выделены ключевые направления дальнейшего развития, включая интеграцию возобновляемых источников энергии и совершенствование общественного транспорта. Автор делает вывод о высокой экономической оправданности «зеленого» транспортного перехода и потенциале Узбекистана в этом направлении.

Ключевые слова: экологичный транспорт, электромобили, экономическая эффективность, государственные стимулы, возобновляемая энергетика.

ECONOMIC EFFICIENCY OF IMPLEMENTING ECO-FRIENDLY TRANSPORT IN UZBEKISTAN

K. Kh. Abdurakhmanov

Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

Abstract. The article analyzes the economic efficiency of implementing eco-friendly transport in Uzbekistan, considering global trends and international experience. It examines government incentives for electric vehicle adoption, including tax benefits, the development of charging infrastructure, and localization of production. The study presents the dynamics of electric vehicle imports, an assessment of CO₂ emission reductions, and socio-economic benefits. Key areas for further development are highlighted, including the integration of renewable energy sources and the improvement of public transport. The author concludes that the «green» transport transition is highly economically justified and emphasizes Uzbekistan's potential in this direction.

Keywords: eco-friendly transport, electric vehicles, economic efficiency, government incentives, renewable energy.

Введение

В условиях современных экологических вызовов переход на экологически чистый транспорт приобретает стратегическое значение. Транспортный сектор оказывает все большее влияние на уровень выбросов парниковых газов: если в 2010 году на его долю приходилось 7,1% совокупных выбросов CO₂ в Узбекистане, то к 2022 году этот показатель увеличился до 12,6%¹.

Одновременно с этим в крупных городах страны обостряется проблема загрязнения атмосферного воздуха, что негативно отражается на здоровье населения и качестве жизни. В связи

с этим развитие электрического транспорта — электромобилей и экологически чистого общественного транспорта — рассматривается в качестве ключевого направления по сокращению вредных выбросов и формированию «зеленой» экономики.

С 2019 года правительство Узбекистана инициировало комплекс мер по стимулированию внедрения электротранспорта, что способствовало резкому росту данного сектора в период 2020–2024 годов. Настоящее исследование направлено на оценку экономической эффективности перехода на экологичный транспорт в Узбекистане за этот период с учетом международного опыта.

¹ International Energy Agency (2024). Global EV Outlook 2024 — Trends in electric cars. — IEA. (Статистика мировых продаж электромобилей, доли рынка.)

Метод

Обоснование теоретических положений и аргументация выводов осуществлялись на основе применения общенаучных и специальных методов исследования: анализа и синтеза, логического и процессного подходов.

Методическую и информационную основу

Результаты и обсуждение

Глобальные тренды подтверждают переход к устойчивому транспорту. Согласно данным Международного энергетического агентства (IEA), в 2023 году электромобили (EV) составили около 18,0% всех продаж автомобилей, достигнув 14 млн единиц. Для сравнения, десять лет назад их доля была менее 1,0%. Лидерами в этом сегменте остаются Китай и Европейский союз.

Китайский рынок EV, поддерживаемый многолетними государственными субсидиями и налоговыми льготами, достиг 8,1 млн проданных единиц в 2023 году (+35,0% к 2022 г.)². Хотя прямые субсидии были прекращены, сохраняются налоговые льготы и региональные меры поддержки. Кроме того, Китай стал крупнейшим мировым экспортером электромобилей — 1,2 млн единиц в 2023 году³.

Международные организации, включая UNEP, подчеркивают, что декарбонизация транспорта критически важна для достижения климатических целей Парижского соглашения. Всемирный банк в отчете по климату для Узбекистана указывает, что развитие эффективного общественного транспорта и экологически устойчивых городских решений способствует сокращению выбросов, снижению заторов и повышению устойчивости городов⁴.

Развитие зарядной инфраструктуры также играет критическую роль. Китай инвестировал в создание сотен тысяч зарядных станций, а Евросоюз развивает общественные сети в рамках программы Alternative Fuels Infrastructure. Важную роль играет и регуляторная политика: ЕС планирует запрет продаж новых автомобилей с ДВС к 2035 году, а в ряде стран вводятся топливные стандарты и квоты на EV.

Электрификация общественного транспорта активно поддерживается государственными закупками. В крупных городах закупаются электробусы (Индия, Китай, ЕС) или внедряются системы Bus Rapid Transit (BRT) с экологичными автобуса-

исследования составили труды ведущих ученых, специализирующихся на проблемах перехода к новому энергетическому укладу, исследующих вопросы экологизации транспорта и проблемы экономической эффективности внедрения экологического транспорта.

Эти меры получают финансовую поддержку международных институтов, включая Всемирный банк и Азиатский банк развития.

Узбекистан также изучает зарубежный опыт стимулирования спроса, включая программы субсидирования экологичного транспорта, реализованные в Сеуле (Республика Корея). Анализ международных практик подтверждает, что переход на устойчивый транспорт при поддержке государства экономически оправдан и обеспечивает значительные экологические и социальные выгоды, превышающие первоначальные затраты.

Обзор литературы по исследуемому вопросу свидетельствует о том, что переход на экологичный транспорт — глобальный тренд, при поддержке государства он экономически оправдан и обеспечивает экологические и социальные выгоды, которые многократно превышают затраты.

Узбекистан относительно поздно включился в развитие электротранспорта, однако за 2020–2024 годы наблюдается стремительный рост числа электромобилей. Отправной точкой стало постановление Президента Узбекистана от 01.01.2019, освободившее импорт EV от таможенной пошлины и акциза, что создало базовые условия для формирования рынка. В сентябре 2021 года электромобили были дополнительно освобождены от транспортного налога, а также введены специальные «зеленые» номера, подчеркивающие их особый статус.

Эти меры привели к резкому увеличению импорта EV. Если в 2019 году в страну поступило лишь 20–39 электромобилей (по разным оценкам), то с 2021 года рынок начал стремительно расти. По данным Агентства статистики, за 2020–2024 годы импорт EV увеличился на порядок, особенно в 2022–2024 годах, когда вступили в силу налоговые льготы и началось развитие инфраструктуры.

До 2021 года внедрение электромобилей (EV) в Узбекистане было ограниченным — всего несколько сотен машин. Однако налоговые

² Там же.

³ Autocar Professional (2024). Nearly one in five cars sold worldwide in 2023 was electric. — IEA report. — Autocar Pro (пересказ данных IEA по глобальному рынку EV).

⁴ World Bank (2022). Uzbekistan Country Climate and Development Report (CCDR). — World Bank.

льготы и рост осведомленности населения привели к шестикратному увеличению импорта EV в 2021 году по стоимости. В 2022 году импорт достиг 2180 единиц на 69,8 млн долл., причем 90,0–92,0% поставок пришлось на Китай, что

обусловлено доминированием китайских брендов (BYD, Chery, Geely, JAC и др.). В 2023 году, по данным Международного энергетического агентства (IEA), в стране было продано около 10 тыс. электромобилей.

Таблица 1

Динамика импорта электромобилей и его влияние на сокращение выбросов CO₂ в Узбекистане (2020–2024 гг.)

Показатель	2020	2021	2022	2024
Импортировано электромобилей, ед.	131	200	2180	24 095
Стоимость импорта, млн долл.	2,8	16,9	69,8	224,8
Оценочное сокращение CO ₂ , т в год*	197	300	3270	36 100

*Оценка сокращения выбросов CO₂ рассчитана исходя из ~1,5 т CO₂ в год на один электромобиль (при пробеге ~15 тыс. км бензиновый автомобиль выбрасывает ~3 т CO₂, что не поступает в атмосферу при использовании EV).

Статистика 2024 года подтверждает экспоненциальный рост: импорт составил 24 095 EV на 224,8 млн долл. — в 10 раз больше, чем в 2017 году. Доля электромобилей на рынке новых авто достигла 5,0–7,0% (по сравнению с 19,0% в мире и 25,0% в ЕС).

Основным драйвером роста стала продуманная государственная политика стимулов. Обнуление таможенных пошлин и налогов снизило стоимость импортных EV для конечных покупателей на 30,0–40,0%, сделав их более доступными. При этом государство не выделяло прямых субсидий, а понесло лишь упущенные налоговые поступления. Эти потери незначительны на фоне потенциальной экономии: в 2022 году Узбекистан импортировал нефтепродуктов на 775 млн долл., а рост парка EV снижает зависимость от топлива.

С целью ускоренного расширения сети с 2023 года заправок и торговым центрам разрешено продавать электроэнергию для EV по рыночным ценам, а с 1 января 2024 года новые ТЦ, гостиницы и АЗС обязаны оснащаться зарядными станциями. Это минимизирует инфраструктурные ограничения, привлекает частные инвестиции и стимулирует государственную поддержку экологических инициатив.

Следующим этапом развития стал запуск собственного производства электромобилей. В 2023 году UzAuto Motors и BYD создали совместное предприятие с планируемым выпуском до 50 тыс. электромобилей в год. Развиваются партнерства с Chery (ADM Jizzakh), а также обсуждаются проекты с Volkswagen и Toyota по производству гибридных и электрических моделей. В конце 2024 года подписан указ Президента о расширении производственных мощностей EV и гибридов до 500 тыс. единиц в год. Ожидается, что первые узбекско-китайские электромобили

поступят на рынок в 2025–2026 годах, что снизит импортную зависимость и создаст новые рабочие места.

Массовое внедрение EV увеличивает нагрузку на энергосистему, особенно в зимний период, когда Узбекистан импортирует газ и электроэнергию. Однако развитие солнечных и ветровых станций при поддержке Всемирного банка и введение льготных ночных тарифов на зарядку EV помогут снизить негативное влияние этого фактора.

Электрификация транспорта охватывает не только личные автомобили, но и модернизацию общественного транспорта, что особенно актуально для мегаполисов. В рамках стратегии «Узбекистан-2030» приоритетом является «зеленая» мобильность: расширение метро, внедрение скоростных автобусных маршрутов (BRT) и переход автобусного парка на экологичные виды топлива.

Помимо экологии, современные низкопольные электробусы повышают комфорт пассажиров, особенно маломобильных групп, и снижают шумовую нагрузку в городе, что положительно влияет на качество городской среды. Улучшение общественного транспорта оказывает значительное социально-экономическое воздействие. Снижение загруженности дорог и загрязнения воздуха способствует укреплению здоровья населения. По оценке Всемирного банка, экономический ущерб от загрязнения воздуха в Узбекистане составляет несколько процентов ВВП, что связано с ростом заболеваемости и затратами на здравоохранение. Замена устаревшего транспорта на экологичный снижает эти потери.

Министерство экономики и финансов разрабатывает механизмы обновления автопарка, включая программы обмена старых автомобилей (с ДВС без нейтрализаторов) на электромобили или гибриды. Введена система экологической

сертификации с цветными наклейками, информирующая владельцев о воздействии их автомобилей на окружающую среду, что стимулирует переход на EV. Подобные меры успешно применяются в Европе и Азии.

Опыт 2020–2024 годов подтверждает экономическую целесообразность перехода к экологичному транспорту. Государственные налоговые льготы привлекли значительные инвестиции и способствовали сокращению затрат на импорт топлива. Бизнес и население вложили сотни миллионов долларов в электромобили и зарядную инфраструктуру, ускоряя модернизацию сектора.

Экологические выгоды уже очевидны: электромобили ежегодно предотвращают выбросы

десятков тысяч тонн CO₂, а также снижают уровень NO_x, CO и PM, улучшая качество воздуха. Это способствует снижению заболеваемости и уменьшает нагрузку на здравоохранение.

Развитие общественного транспорта, включая электробусы, метро и скоростные автобусные маршруты (BRT), повышает мобильность граждан, сокращает транспортные издержки и снижает время в пути. Дальнейшее развитие «зеленого» транспорта потребует интеграции возобновляемых источников энергии для зарядки EV и продления разумных стимулов, что обеспечит максимальный экологический и экономический эффект.

Заключение

Мировой опыт подтверждает, что инвестиции в устойчивый транспорт обладают высокой окупаемостью. По оценкам Всемирного банка, выгоды от мер по адаптации и смягчению последствий изменения климата, включая развитие экологически чистого транспорта, в два-три раза превышают затраты.

Для Узбекистана эти выгоды включают не только снижение выбросов, но и экономический эффект: развитие отрасли электротранспорта способствует технологическому развитию, созданию рабочих мест, снижению зависимости от импорта топлива и улучшению торгового баланса. Совместные проекты с BYD, Chery и другими производителями ускоряют трансфер технологий и расширяют несырьевой экспорт.

Ключевые направления развития заключаются в следующем:

- сохранение налоговых и таможенных льгот, стимулирование обмена устаревших автомобилей на экологичный транспорт;
- реализация плана по установке 2500 электрозарядных станций, стандартизация зарядных

разъемов, развитие сервисных центров;

- использование солнечной и ветровой генерации для зарядной инфраструктуры, минимизация углеродного следа;
- образовательные программы, льготные условия парковки, введение «зеленых зон» с ограничением для автомобилей с ДВС;
- приоритетное финансирование закупок электрических и газомоторных автобусов, оптимизация маршрутов.

К 2030 году доля электромобилей в Узбекистане может достигнуть 10,0–15,0%, а значительная часть городского транспорта перейдет на электротягу. Это приведет к сокращению выбросов, улучшению экологической ситуации, снижению расходов на топливо и стимулированию инноваций.

Опираясь на международный опыт и собственные достижения, Узбекистан обладает потенциалом для успешного «зеленого» транспортного перехода, обеспечивая устойчивое развитие и повышение качества жизни.

Список литературы

1. International Energy Agency (2024). Global EV Outlook 2024 — Trends in electric cars. — IEA (Статистика мировых продаж электромобилей, доли рынка.)
2. Autocar Professional (2024). Nearly one in five cars sold worldwide in 2023 was electric — IEA report. — Autocar Pro (пересказ данных IEA по глобальному рынку EV).
3. Daryo News (2023). Uzbekistan's EV market soars with 90% Chinese imports in 2022. — Daryo.uz (статья об успехах Узбекистана и мерах поддержки EV, данные по импорту).
4. Daryo News (2024). Uzbekistan's electric

- car imports soar tenfold over seven years. — Daryo.uz (новости Агентства статистики РУз, динамика импорта EV 2018–2024).
5. Daryo News (2025). Uzbekistan imports 24,095 electric vehicles in 2024, majority supplied by China. — Daryo.uz (итоги 2024 года: импорт EV, изменения в политике утилизационного сбора).
6. Министерство природных ресурсов РУз (2024). Преимущества использования электромобилей. — Gov.uz (экологические преимущества EV, оценка сокращения выбросов).
7. Cyberleninka / Global Research Network (2022). The market and policy development of

EV industry on a global level and in Uzbekistan: review.— (Анализ мировых политик поддержки EV, данные по субсидиям в Китае и др.).

8. Asian Development Bank & UNCRD (2023). Uzbekistan: Transport Climate Profile.— Asian Transport Outlook (статистика выбросов транспорта, интенсивности, топливных субсидий).

9. World Bank (2022). Uzbekistan Country Climate and Development Report (CCDR).— World Bank (ключевые рекомендации по низкоуглеродному развитию).

10. Daryo News (2024). Uzbekistan to give subsidies for replacing 'harmful' cars with clean ones.— Daryo.uz (постановление 2024 г. о субсидиях на замену авто, экостикеры).

11. Daryo News (2025). Uzbekistan launches project to procure 200 electric buses.— Daryo.uz (проекты по электробусам в Ташкенте, сотрудничество с Yutong, планы на 2024–2025 гг.).

12. IEA (2021). Global EV Policy Explorer— Data Tools.— IEA (база данных по мерам политики разных стран в сфере EV).

13. Daryo News (2023). Gas crisis in Uzbekistan: From exporter to importer.— Daryo.uz (анализ энергодефицита, цены на импортируемый газ; контекст для нагрузки на энергосистему).

14. Kun.uz (2021). Transport Ministry proposes purchasing 300 electric buses.— Kun.uz (планы 2021 г. по электробусам для Ташкента).

15. East Asia Forum / Daryo (2023). Central Asia's budding EV market: Chinese dominance.— EastAsiaForum (роль китайских EV в Центральной Азии, сравнение Узбекистана и Киргизии).

16. Environmental Compliance and Freepik via Daryo (2023). Charging infrastructure: key to EV adoption.— Daryo.uz (развитие зарядной инфраструктуры в Узбекистане, планы до 2024 г.).

References

17. International Energy Agency (2024). Global EV Outlook 2024 – Trends in electric cars. – IEA. (Statistics on global electric vehicle sales, market shares).

18. Autocar Professional (2024). Nearly one in five cars sold worldwide in 2023 was electric – IEA report. – Autocar Pro (Summary of IEA data on the global EV market).

19. Daryo News (2023). Gas crisis in Uzbekistan: From exporter to importer. – Daryo.uz (Analysis of energy deficit, prices of imported gas; context for load on the energy system).

20. Daryo News (2024). Uzbekistan to give subsidies for replacing 'harmful' cars with clean ones. – Daryo.uz (2024 resolution on subsidies for car replacement, eco-stickers).

21. Daryo News (2025). Uzbekistan launches project to procure 200 electric buses. – Daryo.uz (Electric bus projects in Tashkent, cooperation with Yutong, plans for 2024–2025).

22. Ministerstvo prirodnikh resursov RUz (2024). Preimushchestva ispol'zovaniya elektromobilye [Ministry of Natural Resources of the Republic of Uzbekistan (2024). Advantages of using electric vehicles]. Gov.uz (environmental benefits of EV, assessment of emission reductions)..

23. Cyberleninka / Global Research Network (2022). The market and policy development of EV industry on a global level and in Uzbekistan: review. – (Analysis of global EV support policies, data on subsidies in China and elsewhere).

24. Asian Development Bank & UNCRD (2023). Uzbekistan: Transport Climate Profile. – Asian

Transport Outlook (Statistics on transport emissions, intensity, fuel subsidies).

25. World Bank (2022). Uzbekistan Country Climate and Development Report (CCDR). – World Bank (Key recommendations for low-carbon development, including for transport).

26. Daryo News (2024). Uzbekistan's electric car imports soar tenfold over seven years. – Daryo.uz (News from the Statistics Agency of the Republic of Uzbekistan, dynamics of EV imports 2018–2024).

27. Daryo News (2025). Uzbekistan imports 24,095 electric vehicles in 2024, majority supplied by China. – Daryo.uz (2024 results: EV imports, changes in recycling fee policies).

28. IEA (2021). Global EV Policy Explorer – Data Tools. – IEA (Database of policy measures from different countries in the EV sector).

29. Daryo News (2023). Uzbekistan's EV market soars with 90% Chinese imports in 2022. – Daryo.uz (Article on Uzbekistan's successes and EV support measures, import data).

30. Kun.uz (2021). Transport Ministry proposes purchasing 300 electric buses. – Kun.uz (2021 plans for electric buses for Tashkent).

31. East Asia Forum / Daryo (2023). Central Asia's budding EV market: Chinese dominance. – EastAsiaForum (The role of Chinese EVs in Central Asia, comparison of Uzbekistan and Kyrgyzstan).

32. Environmental Compliance and Freepik via Daryo (2023). Charging infrastructure: key to EV adoption. – Daryo.uz (Development of charging infrastructure in Uzbekistan, plans until 2024)

Сведения об авторе

Абдурахманов Каландар Ходжаевич
академик Академии наук Республики
Узбекистан, доктор экономических наук,
профессор, директор Ташкентского филиала
РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: 100164, Республика Узбекистан,
г. Ташкент, Мирзо Улугбекский район, улица
Шахриобод, д. 3
ORCID: 0000-0002-8887-5754
E-mail: KAbdurakhmanov@yandex.ru

Information about the author

Abdurakhmanov Kalandar Khodzhaevich
Academician of the Academy of Sciences of the
Republic of Uzbekistan, Doctor of Economic
Sciences, Professor, Director of the Tashkent
Branch of Plekhanov Russian University of
Economics.
Address: 100164, Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Mirzo Ulugbek District,
Shakhriobod Street, 3
ORCID: 0000-0002-8887-5754
E-mail: KAbdurakhmanov@yandex.ru

УДК 311.42

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ИНДЕКСА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Е. А. Шитов**Г. В. Гайдаржи***МГУ имени М. В. Ломоносова*

Аннотация. Развитие транспортного комплекса является основой устойчивого и эффективного развития территорий, обеспечивает достижение ключевых целей социально-экономического развития страны. Внедрение инноваций позволяет снизить операционные затраты, увеличить конкурентоспособность транспортной системы. Комплексная система оценки инновационного развития транспортных комплексов позволяет оценить успешность реализуемой политики, а также обнаружить проблемы и риски, связанные с внедрением новых технологий. Разработанная методика включает 24 показателя по пяти направлениям оценки: инновационные технологии в общественном транспорте, инновационные решения для целей организации движения, цифровые решения в сфере транспортной безопасности, экологические решения для транспорта, цифровые решения в автомобильном транспорте. По результатам оценки регионы были разделены на 3 категории. Лидирующие позиции заняли г. Москва, г. Санкт-Петербург, Мурманская область.

Ключевые слова: инновационное развитие транспорта, умные города, интегральные индексы, развитие транспортного комплекса.

DEVELOPMENT AND TESTING OF THE INNOVATION DEVELOPMENT INDEX FOR TRANSPORT COMPLEXES OF THE RUSSIAN FEDERATION SUBJECTS

E. A. Shitov**G. V. Gaidarzhi***Lomonosov Moscow State University*

Abstract. Development of the transport complex forms the foundation for sustainable and efficient territorial development, ensuring the achievement of key socioeconomic development goals for the country. The implementation of innovations allows for reducing operational costs and increasing the competitiveness of the transport system. A comprehensive evaluation system for transport complexes' innovative development enables assessment of policy implementation success, as well as identification of problems and risks associated with the introduction of new technologies. The developed methodology includes 24 indicators across 5 evaluation areas: innovative technologies in public transport, innovative solutions for traffic management, digital solutions in transport security, environmental solutions for transport, and digital solutions in automotive transport. Based on the evaluation results, regions were divided into 3 categories. The leading positions were taken by Moscow, Saint Petersburg, and Murmansk Oblast.

Keywords: transport innovation development, smart cities, integral indexes, transport complex development, integral indexes, transport system development, public transport, private transport, smart city.

Введение

Транспортный комплекс региона определяет потенциал экономического и социального развития, обеспечивает связанность территорий и единство экономического пространства. Внедрение

инновационных технологий способствует оптимизации затрат на текущую деятельность, увеличению пассажиро- и грузопотока, увеличению транспортных расстояний, повышению гибкости

и качества предоставляемых услуг. Значимость внедрения инноваций в транспортные комплексы субъектов Российской Федерации неоднократно выделялась как на уровне федеральных, так и региональных органов власти. Согласно Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года, основным путем развития транспорта является формирование технически, технологически и экономически сбалансированной на основе транспортно-экономического баланса транспортной системы и повышения профессионализма сотрудников транспортных организаций [1].

В международной практике для оценки уровня развития отдельных элементов территорий и транспортной инфраструктуры широко применяются комплексные методики оценки, однако в России данные подходы менее распространены [2]. Фокус российских исследователей сконцентрирован на социально-экономическом развитии городов [3, 4], а также сравнении городов с позиций устойчивого развития с особым вниманием к расчету экологической компоненты [5, 6]. Отдельные индексы транспортного развития направлены на оценку базовых характеристик транспортного развития городов, а также сопоставление с другими городами мира [7].

Зарубежные методики оценки направлены как на оценку трансформации городской мобильности в XXI веке, так и на общее определение зрелости транспортной системы [8, 9]. В качестве наиболее известных и применимых методик можно выделить индекс городской мобильности, составленный Центром экономических и бизнес-исследований совместно с компанией Qualcomm [10], индекс городской мобильности консалтинговой компании Deloitte [11], индекс готовности городской мобильности, составленный консалтинговой компанией Оливера Ваймана совместно с Калифорнийским университетом в Беркли [12], и индекс инновационности го-

Метод

Разработка системы показателей индекса осуществлялась на основе национальных проектов и стратегий развития, регулирующих вопросы государственной политики в сфере информационно-коммуникационных технологий и инновационного развития городов, а также данных государственной статистики. Показатели индекса выделены на основе ключевых направлений цифровых технологий, внедряемых в транспортные системы городов Российской Федерации, согласно базовым и дополнительным требованиям к умным городам [16], национальной цели «Цифровая

родской мобильности, составленный Международным союзом общественного транспорта [13]. Данные индексы включают показатели общего состояния транспортной сети (загруженность дорог, доступность общественного транспорта, наличие инфраструктуры для электромобилей и др.); показатели, связанные с эффективностью деятельности транспорта (уровень загрязнений воздуха, безопасность и надежность транспортной системы и др.); показатели, связанные с будущим развитием транспорта (инвестиционная привлекательность, наличие стратегических планов по развитию сети и др.).

Исследователями отмечается, что существующие методики направлены на оценку развития городских транспортных систем, однако процессы субурбанизации, усиливающаяся связь между городом и прилегающими территориями, процессы формирования агломераций определяют необходимость подхода к комплексной оценке транспортной системы отдельного города и всего региона [14, 15]. Подходы к стратегическому планированию транспортного планирования Российской Федерации также актуализируют потребность комплексной оценки уровня инновационного развития транспорта на территории субъектов РФ.

Целью статьи является оценка уровня инновационного развития транспортных комплексов субъектов РФ для выявления лучших практик регионов в области транспорта. Для достижения данной цели предполагается решение следующих задач:

- разработка и апробация методики оценки инновационного развития транспортных комплексов субъектов РФ;
- ранжирование субъектов РФ по уровню инновационного развития транспортных комплексов;
- оценка лучших практик и резервов развития транспортных комплексов.

трансформация» [17], стратегическому направлению в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года [18]. Было выделено пять ключевых направлений оценки и предложено 24 показателя, которые наилучшим образом соответствуют предмету исследования, а значения собираются по достаточному для расчета количеству субъектов (табл. 1). Источниками для расчета стали данные государственной статистики, а также региональных органов власти, собранные путем анкетного опроса.

**Направления оценки и показатели индекса инновационного развития
транспортных комплексов субъектов Российской Федерации**

Направление оценки	Показатель
Инновационные технологии в общественном транспорте	Доля автобусов, троллейбусов и трамваев, осуществляющих перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном (в пределах субъекта Российской Федерации) сообщениях, оснащенных системами безналичной оплаты проезда по состоянию на конец отчетного периода
	Доля пассажиров, использующих безналичную оплату проезда на общественном транспорте (с помощью банковских карт, единых транспортных карт, мобильных приложений) по состоянию на конец отчетного периода
	Средний возраст автобусного транспорта по состоянию на конец отчетного периода
	Минимальный технически возможный интервал движения поездов метрополитена по состоянию на конец отчетного периода (показатель применяется только для субъектов Российской Федерации, в которых расположен действующий метрополитен)
Инновационные решения для целей организации движения	Доля автобусов, троллейбусов и трамваев, осуществляющих перевозки пассажиров в городском, пригородном и междугородном (в пределах субъекта Российской Федерации) сообщениях, для которых обеспечена в открытом доступе информация об их реальном движении по маршруту по состоянию на конец отчетного периода
	Доля транспортных средств общественного транспорта, подключенных к региональным транспортным информационным системам по состоянию на конец отчетного периода
	Доля транспортных средств общественного транспорта, подключенных к системе мониторинга, управления и прогнозирования пассажиропотока (в том числе на основе данных оплаты проезда и данных видеоаналитики) по состоянию на конец отчетного периода
	Соблюдение расписания (пунктуальность) на автобусных, троллейбусных и трамвайных маршрутах по состоянию на конец отчетного периода
	Увеличение средней скорости перемещения пассажиров в городском общественном транспорте за год
	Загруженность дорог за год
Цифровые решения в сфере транспортной безопасности	Доля транспортных средств общественного транспорта, оснащенных системами идентификации пассажиров посредством применения биометрических технологий на конец отчетного периода
	Количество средств автоматической фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения по отношению к общей протяженности дорог субъекта на конец отчетного периода
	Количество дорожно-транспортных происшествий по отношению к численности населения субъекта за год
	Число смертельных случаев в дорожно-транспортных происшествиях по отношению к численности населения субъекта за год
	Удовлетворенность безопасностью дорожного движения на конец отчетного периода
Экологические решения для транспорта	Доля электротранспорта в общем числе средств наземного общественного транспорта (автобусов, трамваев, троллейбусов) на конец отчетного периода
	Доля автомобилей с электродвигателем в общем числе автомобилей, зарегистрированных на территории субъекта на конец отчетного периода
	Количество зарядных станций для средств микромобильности (велосипедов, самокатов и т. д.) в крупнейших городах субъекта федерации по отношению к численности населения крупнейших городов субъекта федерации на конец отчетного периода
	Количество зарядных станций для личного автотранспорта в крупнейших городах субъекта федерации по отношению к количеству автомобилей с электрическим двигателем, зарегистрированных в субъекте Российской Федерации на конец отчетного периода
	Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспорта по отношению к численности населения субъекта
Цифровые решения в автомобильном транспорте	Доля дорог, охваченных системами стационарного и мобильного мониторинга состояния дорожного полотна для контроля эксплуатирующих организаций на конец отчетного периода
	Доля муниципальных парковочных мест, охваченных системами администрирования городского парковочного пространства на конец отчетного периода
	Доля платных участков автомобильных дорог, оснащенных элементами инфраструктуры для обеспечения возможности автоматизированной оплаты на конец отчетного периода
	Доля светофорных объектов, расположенных на территории субъекта и подключенных к системе интеллектуального управления движением на конец отчетного периода

и Санкт-Петербург, Мурманская, Белгородская, Брянская и Московская области — данные регионы набрали 41 балл. Перечисленные регионы характеризуются высокими значениями валового регионального продукта, бюджетной обеспеченности, развитой инновационной инфраструктурой для разработки технических решений. В данных регионах внедряются передовые инновационные решения, рекомендуемые для тиражирования в других субъектах Российской Федерации.

Лидирующие позиции Москвы обеспечиваются за счет высокого уровня внедрения инновационных технологий по всем направлениям оценки. Наибольшая разница с оценками других регионов достигнута в рамках субиндекса «Цифровые решения в сфере транспортной безопасности». В Москве наиболее широко внедряются технологии фотовидеофиксации нарушений. Внедренная система позволяет отслеживать более 64 типов нарушений правил дорожного движения, а также фиксировать дорожно-транспортные происшествия [19]. С момента внедрения системы в 2012 году количество дорожно-транспортных происшествий сократилось в три раза. Внедрение камер позволяет снизить аварийность на наиболее аварийных участках на 30%. С 2018 года обработка всех изображений с признаками нарушений осуществляется с применением искусственного интеллекта. Автоматическая запись всех происходящих аварий позволяет в случае мелких происшествий убирать транспортные средства с проезжей части сразу после аварии. Внедряется интеллектуальная система «ПРОСобытие», позволяющая сократить время реагирования дорожных служб: при выявлении дорожного происшествия сигнал автоматически передается в службу «Дорожного патруля» [20].

Также Москва была высоко отмечена в рамках направления «Инновационные решения для целей организации движения». В городе внедрена уникальная система создания цифровых двойников транспортной инфраструктуры не только на этапе проектирования, но и для уже построенных объектов. Основным инструментом, обеспечивающим качество сканирования, является передвижная лаборатория. Датчики зафиксированы на раздвижной мачте автомобиля, выдвигаемой на высоту до восьми метров, что позволяет делать максимально точные замеры с использованием видеодетектора и специального программного обеспечения. Для сканирования отдельных транспортных узлов применялась съемка с беспилотного летательного аппарата. Применение данной технологии позволило оценить не только интенсивность, но и распределение транспортных потоков [21].

Высокие позиции города Санкт-Петербурга определяются высоким уровнем внедрения экологических решений для транспорта. В городе широко применяется электротранспорт: были запущены электробусы и троллейбусы с увеличенным автономным ходом [22]. В 2025 году планируется запуск электрических судов [23].

К группе развивающихся регионов Российской Федерации относятся 35 субъектов — их значения составляют от 21 до 40 баллов. Данные регионы успешно содействуют развитию и внедрению инновационных решений в транспортном секторе, однако отдельные направления поддерживаются в ограниченном объеме. В данных субъектах внедрены технологии по всем направлениям оценки, отдельные решения являются передовыми. Например, в Воронежской области осуществлено внедрение системы потокового скрининга опасного вождения, позволяющей на основе машинного обучения фиксировать и классифицировать все случаи опасного вождения, устанавливать корреляцию между нарушениями правил дорожного движения и организацией движения на отдельных участках дороги.

Среди регионов, набравших наименьшее количество баллов, выделяются регионы, обладающие низким уровнем урбанизации и бюджетной обеспеченности. Однако стоит отметить, что данные регионы также могут демонстрировать успешные кейсы внедрения инновационных решений. Например, Республика Хакасия в 2023 году заключила соглашение с «Россети Сибирь» для установки быстрых зарядных станций на территории субъекта. Расположение данных зарядных станций вдоль крупных трасс увеличивает транспортную доступность регионов Сибири для электромобилей.

Наибольшие резервы для инновационного развития транспортных комплексов наблюдаются по направлениям внедрения цифровых решений в автомобильном транспорте и распространения экологических решений для транспорта. Резервы развития обусловлены необходимостью высоких финансовых вложений и низким уровнем готовности отечественных решений в данных направлениях.

Результаты расчета индекса инновационного развития транспортных комплексов соответствуют социально-экономическим показателям субъектов и не противоречат данным оценок уровня транспортного развития городов РФ [24, 25, 26]. Ограничением применения данной методики является сложность сбора данных, обусловленная ограниченностью данных государственной статистики.

Заключение

Внедрение индексов для оценки развития транспортных комплексов способствует повышению эффективности управленческой деятельности путем получения информации обо всех аспектах развития:

1. Методика индекса инновационного развития транспортных комплексов разработана с учетом ключевых положений государственных документов стратегического планирования Российской Федерации и позволяет провести комплексную оценку по пяти направлениям: инновационные технологии в общественном транспорте; инновационные решения для целей организации движения; цифровые решения в сфере транспортной безопасности; экологические решения для

транспорта; цифровые решения в автомобильном транспорте

2. Апробация методики позволила выделить три группы субъектов: субъекты-лидеры (более 41 балла), развивающиеся субъекты (от 21 до 40 баллов) и регионы, имеющие резервы дальнейшего развития (менее 21 балла). Лидирующие позиции заняли города Москва и Санкт-Петербург, Мурманская, Белгородская, Брянская и Московская области.

3. Наибольшее отставание наблюдается по направлениям внедрения цифровых решений в автомобильном транспорте и распространения экологических решений для транспорта.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р.

2. Землянский Д. Ю. Методические подходы к составлению комплексных индексов социально-экономического развития городов / Д. Ю. Землянский, А. Г. Махрова, Д. М. Медведникова // Вестник Московского университета. Серия 5. География. — 2020. — № 4. — С. 21–31.

3. Землянский Д. Ю. Комплексный индекс социально-экономического развития городов России / Д. Ю. Землянский, Л. В. Калиновский, А. Г. Махрова, Д. М. Медведникова, В. А. Чуженькова // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2021. — Т. 84. — № 6. — С. 805–818.

4. Меленькина С. А. Социально-экономическое развитие столичных городов Российской Федерации: вопросы оценки / С. А. Меленькина, А. О. Ужегов // Вестник Сургутского государственного университета. — 2024. — Т. 12. — № 2. — С. 42–52.

5. Самохин А. В. Методика измерения устойчивого развития городов России: ESG-индекс ВЭБ. РФ / А. В. Самохин, С. А. Мясников // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. — 2023. — № 1. — С. 232–255.

6. Фаузер В. В. Международные и российские подходы к изучению устойчивого развития городского пространства: от теории к практике / В. В. Фаузер, А. В. Смирнов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2023. — Т. 16. — № 1. — С. 85.

7. Карасев О. И. Оценка уровня развития транспортного комплекса мегаполисов / О. И. Карасев, А. О. Кривцова // Статистика и экономика. — 2019. — № 1. — С. 22–31.

8. Genovez Souza G. Bibliographic review that reports on the sustainable urban mobility index, between the years 2018 and 2022 / Genovez Souza G., Barroso Castañón J. A. // Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal). — 2024. — Т. 17. — № 7.

9. Dang T. A. A comparative study of urban mobility patterns using large-scale spatio-temporal data / Dang T. A., Chiam J., Li Y. // 2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). — IEEE, 2018. — С. 572–579.

10. Urban Mobility Index // Qualcomm. — Режим доступа: https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/urban_mobility_index_report.pdf (дата обращения: 01.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

11. China D. Fueling the future of mobility // Hydrogen and fuel cell solutions for transportation. — 2020. — Т. 1.

12. Medina-Molina C., de la Sierra Rey-Tienda M. The transition towards the implementation of sustainable mobility. Looking for generalization of sustainable mobility in different territories by the application of QCA // Sustainable Technology and Entrepreneurship. — 2022. — Т. 1. — № 2.

13. Urban mobility innovation index 2021 Union Internationale des Transports Publics // UITP. — Режим доступа: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2022/06/UMii-report-2021_NEW.pdf (дата обращения: 01.02.2025), свободный. — Заглавие с экрана. — Яз. англ.

14. Viergutz K. Does it work elsewhere? / Viergutz K., Sauerländer-Biebl A., Hoffmann R. // Transferability of mobility research results across national borders. European transport conference.— 2023.
15. Lorig F. Simulating the impact of shared mobility on demand: a study of future transportation systems in gothenburg, sweden / Lorig F., Persson J.A., Michielsen A. // International Journal of Intelligent Transportation Systems Research.— 2023.— Т. 21.— № 1.— С. 129–144.
16. Базовые и дополнительные требования к умным городам (стандарт «Умный город») // Минстрой России.— Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18039/> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
17. Указ Президента Российской Федерации «О национальных целях развития России до 2030 года» от 21.07.2020 № 474.
18. Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 г.» от 21.12.2021 № 3744-р.
19. Москва муляжам не верит // Коммерсант.— Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/7363984> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
20. Сергей Собянин: Москва — лидер по безопасности дорожного движения в России // Официальный портал мэра и Правительства Москвы.— Режим доступа: <https://www.mos.ru/mayor/themes/9447050/> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
21. «Цифровой двойник Москвы»: как 3D-моделирование и искусственный интеллект изменили управление городом // Официальный портал мэра и Правительства Москвы.— Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/126225073/> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
22. Первые электробусы «Сириус» выходят на линию в Петербурге // Фонтанка.— Режим доступа: <https://tass.ru/obschestvo/21800315> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
23. В Петербурге запустят первое электросудно для речных перевозок пассажиров // ТАСС.— Режим доступа: <https://www.fontanka.ru/2024/11/13/74328443/> (дата обращения: 01.02.2025), свободный.— Заглавие с экрана.— Яз. рус.
24. Карасев О. И. Индикаторы транспортного развития мегаполисов / О. И. Карасев, А. О. Кривцова // Инновации и инвестиции.— 2019.— № 7.— С. 206–211.
25. Смирнов А. Ю. Анализ развития транспортной системы Санкт-Петербурга // Мир новой экономики.— 2021.— № 2.— С. 89–96.
26. Солдатенко И. А. Результаты развития транспортного комплекса Москвы в 2010–2020 годах // Экономическое развитие России.— 2021.— Т. 28.— № 2.— С. 55–60.

References

1. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda [Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035]. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021, No. 3363-r.
2. Zemlyanskij D.Yu., Mahrova A.G., Medvednikova D.M. Metodicheskie podhody k sostavleniyu kompleksnyh indeksov social'no-ekonomicheskogo razvitiya gorodov [Methodological approaches to compiling comprehensive indices of socio-economic development of cities]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography], 2020, no. 4, pp. 21-31.
3. Zemlyanskij D.Yu., Kalinovskij L.V., Mahrova A.G., Medvednikova D.M., Chuzhen'kova V.A. Kompleksnyj indeks social'no-ekonomicheskogo razvitiya gorodov Rossii [Comprehensive index of socio-economic development of Russian cities]. Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series], 2021, vol. 84, no. 6, pp. 805-818.
4. Melen'kina S.A., Uzhegov A.O. Social'no-ekonomicheskoe razvitie stolichnyh gorodov Rossijskoj Federacii: voprosy ocenki [Socio-economic development of capital cities of the Russian Federation: assessment issues]. Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Surgut State University], 2024, vol. 12, no. 2, pp. 42-52.
5. Samohin A.V., Myasnikov S.A. Metodika izmereniya ustojchivogo razvitiya gorodov Rossii: ESG-indeks VEB. RF [Methodology for measuring sustainable development of Russian cities: ESG index of VEB.RF]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika [Moscow University Bulletin.

Series 6. Economics], 2023, no. 1, pp. 232-255.

6. Fauser V.V., Smirnov A.V. Mezhdunarodnye i rossijskie podhody k izucheniyu ustojchivogo razvitiya gorodskogo prostranstva: ot teorii k praktike [International and Russian approaches to studying sustainable development of urban space: from theory to practice]. Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz [Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast], 2023, vol. 16, no. 1, p. 85.

7. Karasev O.I., Krivtsova A.O. Ocenka urovnya razvitiya transportnogo kompleksa megapolisov [Assessment of the transport complex development level in megalopolises]. Statistika i ekonomika [Statistics and Economics], 2019, no. 1, pp. 22-31.

8. Genovez Souza G., Barroso Castañon J.A. Bibliographic review that reports on the sustainable urban mobility index, between the years 2018 and 2022. Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal), 2024, vol. 17, no. 7.

9. Dang T.A., Chiam J., Li Y. A comparative study of urban mobility patterns using large-scale spatio-temporal data. 2018 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). IEEE, 2018, pp. 572-579.

10. Urban Mobility Index. Qualcomm. Available at: https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/documents/urban_mobility_index_report.pdf (accessed: 01.02.2025).

11. China D. Fueling the future of mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation, 2020, vol. 1.

12. Medina-Molina C., de la Sierra Rey-Tienda M. The transition towards the implementation of sustainable mobility. Looking for generalization of sustainable mobility in different territories by the application of QCA. Sustainable Technology and Entrepreneurship, 2022, vol. 1, no. 2, p. 100015.

13. Urban mobility innovation index 2021 Union Internationale des Transports Publics. UITP. Available at: https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2022/06/UMii-report-2021_NEW.pdf (accessed: 01.02.2025).

14. Viergutz K., Sauerländer-Biebl A., Hoffmann R. Does it work elsewhere? Transferability of mobility research results across national borders. European transport conference, 2023.

15. Lorig F., Persson J.A., Michielsen A. Simulating the impact of shared mobility on demand: a study of future transportation systems in gothenburg, sweden. International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2023, vol. 21, no. 1, pp. 129-144.

16. Bazovye i dopolnitel'nye trebovaniya k umnym gorodam (standart «Umnyj gorod»)

[Basic and additional requirements for smart cities (standard «Smart City»)]. Ministry of Construction of Russia. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/18039/> (accessed: 01.02.2025).

17. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21.07.2020 No 474 «O nacional'nyh celyah razvitiya Rossii do 2030 goda» [Decree of the President of the Russian Federation of July 21, 2020 No. 474 «On the national development goals of Russia until 2030»].

18. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 21 dekabrya 2021 g. № 3744-r «Ob utverzhdenii strategicheskogo napravleniya v oblasti cifrovoj transformacii transportnoj otrasli RF do 2030 g.» [Decree of the Government of the Russian Federation of December 21, 2021 No. 3744-r «On approval of the strategic direction in the field of digital transformation of the transport industry of the Russian Federation until 2030»].

19. Moskva mulyazham ne verit [Moscow doesn't believe in dummies]. Kommersant. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/7363984> (accessed: 01.02.2025).

20. Sergej Sobyenin: Moskva — lider po bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossii [Sergey Sobyenin: Moscow is the leader in road safety in Russia]. Official Portal of the Mayor and Government of Moscow. Available at: <https://www.mos.ru/mayor/themes/9447050/> (accessed: 01.02.2025).

21. "Cifrovoj dvojniki Moskvyy": kak 3D-modelirovanie i iskusstvennyj intellekt izmenili upravlenie gorodom ["Digital Twin of Moscow": how 3D modeling and artificial intelligence changed city management]. Official Portal of the Mayor and Government of Moscow. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/126225073/> (accessed: 01.02.2025).

22. Pervye elektrobussy «Sirius» vyhodyat na liniyu v Peterburge [First «Sirius» electric buses start operating in St. Petersburg]. Fontanka. Available at: <https://tass.ru/obschestvo/21800315> (accessed: 01.02.2025).

23. V Peterburge zapustyat pervoe elektrosudno dlya rechnyh perevozok passazhirov [St. Petersburg will launch the first electric vessel for river passenger transportation]. TASS. Available at: <https://www.fontanka.ru/2024/11/13/74328443/> (accessed: 01.02.2025).

24. Karasev O.I., Krivtsova A.O. Indikatory transportnogo razvitiya megapolisov [Indicators of transport development in megalopolises]. Innovacii i investicii [Innovations and Investments], 2019, no. 7, pp. 206-211.

25. Smirnov A.Yu. Analiz razvitiya transportnoj sistemy Sankt-Peterburga [Analysis of the transport system development in St. Petersburg]. Mir novoj

ekonomiki [World of New Economy], 2021, no. 2, pp. 89-96.

26. Soldatenko I.A. Rezul'taty razvitiya transportnogo kompleksa Moskvy v 2010-2020 gg

[Results of the development of Moscow's transport complex in 2010-2020]. Ekonomicheskoe razvitie Rossii [Economic Development of Russia], 2021, vol. 28, no. 2, pp. 55-60.

Статья получена 20.02.2025 | статья опубликована 24.03.2025

Сведения об авторах

Шитов Егор Александрович

директор Центра научно-технологической политики МГУ имени М.В. Ломоносова
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
ORCID:0000-0002-1059-3239
E-mail: egor.shitov@digital.msu.ru

Гайдаржи Галина Викторовна

ведущий сотрудник Центра компетенций Научной технологической инициативы по направлению «Технологии хранения и анализа больших данных» на базе МГУ имени М.В. Ломоносова
Адрес: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1
ORCID: 0000-0003-3378-0392
E-mail: galina.gaydarzhi@digital.msu.ru

Information about the authors

Shitov Egor Alexandrovich

Director of the Center for Science and Technology Policy, Lomonosov Moscow State University
Address: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lomonosov Moscow State University», 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1.
ORCID: 0000-0002-1059-3239
E-mail: egor.shitov@digital.msu.ru

Gaydarji Galina Viktorovna

Leading Researcher at the Center of Competence of the Scientific Technology Initiative in «Big Data Storage and Analysis Technologies» at Lomonosov Moscow State University
Address: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Lomonosov Moscow State University», 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1.
ORCID: 0000-0003-3378-0392
E-mail: galina.gaydarzhi@digital.msu.ru

