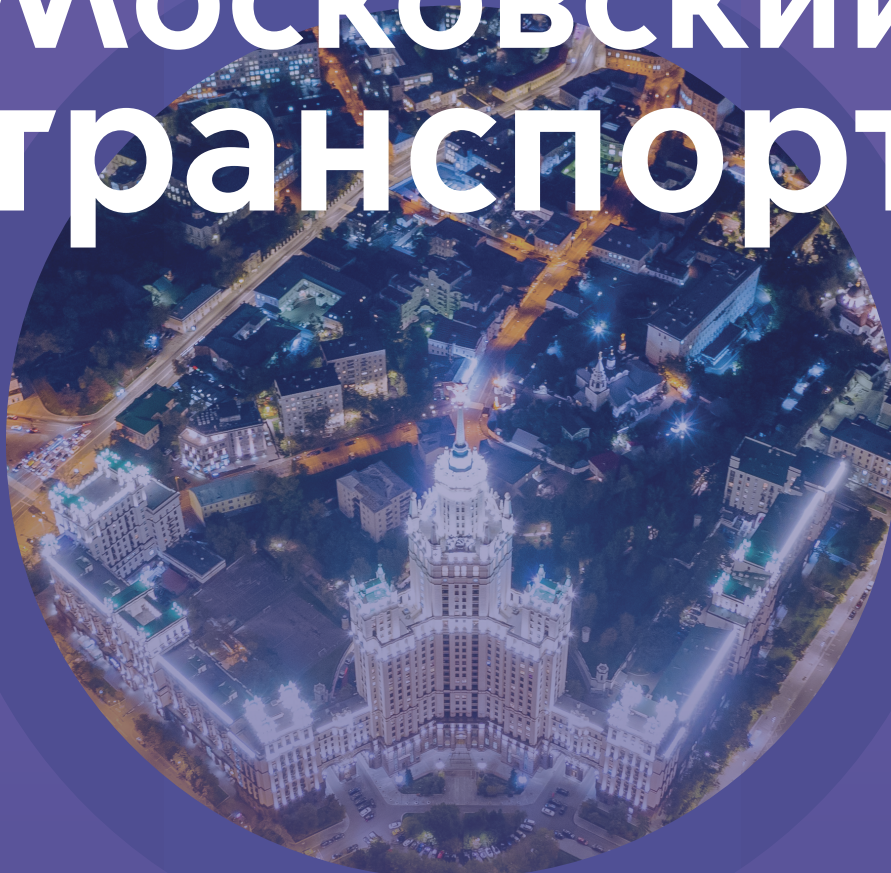




МосТрансПроект

Московский транспорт



Наука
и проектирование

№ 3

2025



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА
«МОСТРАНСПРОЕКТ»

ISSN: 3034-5162

SCIENTIFIC
JOURNAL

OF THE RESEARCH
INSTITUTE
«MOSTRANSPROJECT»

ISSN: 3034-5162

2025 № 3 (3)

Научный журнал Учредитель НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «МОСТРАНСПРОЕКТ» Основан в 2025 г. При перепечатке материалов ссылка на жур- нал «Московский транспорт. Наука и проек- тирование» обязательна. Рукописи, не при- нятые к публикации, не возвращаются. Мнение редакции и членов редколлегии мо- жет 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

Белов Александр Владимирович – кандидат технических наук, главный научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект»

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»
№ 3 (3) 2025

Ответственный секретарь:

Е. А. Косарева

Выпускающий редактор:

В. В. Кузнецов

Редактор: Н. В. Юркень

Переводчик: Е. С. Романова

Верстка: А. В. Таскаева

Оформление обложки:

Д. Ю. Козлова

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 20.09.2025

Формат 60 x 84 /8

Печ. л. 5,94.

Усл. печ. л. 12.

Тираж 200 экз.

(первый завод – 50 экз.).

Заказ № 3

Содержание

Транспортные системы

- А. Г. Шаклеин, К. А. Кожемякина, А. В. Можчеров,*
Развитие терминально-логистической инфраструктуры для переработки
скоропортящихся грузов в Московской агломерации..... 8
- М. А. Масалова, Ш. Р. Поздняков, Н. А. Политаева,*
Оценка эффективности метода альголизации водоемов для безопасной
работы водного транспорта 20

Строительство

- В. А. Пашинин, А. В. Федорков,*
Обоснование ограничения строительства подземных
парковок в Москве: потенциал, экологические
риски и компромиссы 31
- Т. В. Золина, С. С. Рекунов,*
Графоаналитическое моделирование и оценка эффективности
транспортно-планировочных решений в условиях линейно-вытянутой
городской структуры (на примере г. Волгограда) 37
- И. А. Терехов, А. В. Ямалов,*
Учет взаимного влияния дефектов на категорию
технического состояния конструкций..... 47

Компьютерные науки и информатика

- Г. Г. Красноженов, С. А. Лебедев,*
Задачи, вызовы и эффективность интеллектуальных технологий для
цифрового проектирования 56

Экономика

- О. А. Гришина, Е. В. Устюжанина,*
Транспортная инфраструктура как драйвер развития экономики 75
- Д. С. Бахарев,*
Анализ распределения пассажиропотоков автобусных маршрутов
в утренний пиковый период в границах Московской агломерации
(на примере связи Одинцовского городского округа
и города Москвы) 83

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)

Belov Alexander Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Chief Research Scientist at GBU «MosTransProject»

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)

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)

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

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. 3 (3) 2025

Executive Secretary: E. A. Kosareva

Managing editor: V. V. Kuznetsov

Editor: N. V. Yourken

Translator: E. S. Romanova

Layout: A. V. Taskaeva

Cover Design: D. Y. Kozlova

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 September 20, 2025

Format 60 x 84/8

Printed sheets: 5.94

Conventional printed sheets: 12

Print run: 200 copies.

(first batch — 50 copies).

Order No. 3

Content

Transport Systems

<i>A. G. Shaklein, K. A. Kozhemyakina, A. V. Mozhcherov,</i> Development Of Terminal And Logistics Infrastructure For Perishable Cargo Handling In The Moscow Agglomeration	8
<i>M. A. Masalova, S. R. Pozdnyakov, N. A. Politaeva,</i> Evaluation Of Algalization Method Efficiency For Water Bodies To Ensure Safe Water Transport Operation	20

Construction

<i>V. A. Pashinin, A. V. Fedorkov,</i> Justification Of Restrictions On Underground Parking Construction In Moscow: Potential, Environmental Risks And Trade-Offs.....	31
<i>T. V. Zolina, S. S. Rekunov,</i> Graph-Analytical Modeling And Efficiency Assessment Of Transport And Planning Solutions In Linear Urban Structure Conditions (Case Study Of Volgograd).....	37
<i>I. A. Terekhov, A. V. Yamalov,</i> Accounting For The Mutual Influence Of Defects On The Technical Condition Category Of Structures	47

Computer Sciences and Informatics

<i>G. G. Krasnozhenov, S. A. Lebedev,</i> Objectives, Challenges And Effectiveness Of Intelligent Technologies In Digital Design	56
--	----

Economics

<i>O. A. Grishina, E. V. Ustyuzhanina,</i> Transport Infrastructure As A Driver Of Economic Development	75
<i>D. S. Bakharev,</i> Passenger Flow Distribution Analysis For Bus Routes During Morning Peak Period Within Moscow Agglomeration (Case Study: Odintsovo Urban District—Moscow City).....	83

УДК 656.025

РАЗВИТИЕ ТЕРМИНАЛЬНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ В МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

А. Г. Шаклеин

К. А. Кожемякина

А. В. Можчеров

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)

Аннотация. Статья посвящена исследованию вопросов развития терминально-логистической инфраструктуры для переработки скоропортящихся грузов в Московском регионе. Авторами проведен анализ существующей терминально-складской инфраструктуры. Определены ключевые требования к современным терминально-логистическим центрам, обеспечивающим переработку скоропортящихся грузов. Выполнен расчет оптимального местоположения для размещения перспективного терминально-логистического центра, учитывая транспортные грузовые потоки, доступность инфраструктуры и экономические факторы. Результаты исследования направлены на повышение эффективности логистических процессов и снижение потерь при транспортировке скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом в условиях городской агломерации.

Ключевые слова: терминально-логистическая инфраструктура, скоропортящиеся грузы, логистические процессы, продовольственная безопасность, городская логистика, непрерывная холодильная цепь, логистические услуги, оптимизация транспортных процессов, хранение и переработка грузов, логистические кластеры.

UDC 656.025

DEVELOPMENT OF TERMINAL AND LOGISTICS INFRASTRUCTURE FOR PERISHABLE CARGO HANDLING IN THE MOSCOW AGGLOMERATION

A. G. Shaklein

K. A. Kozhemyakina

A. V. Mozhcherov

Russian University of Transport (RUT MIIT)

Abstract. The article is devoted to the study of terminal and logistics infrastructure development for perishable cargo handling in the Moscow region. The authors conducted an analysis of the existing terminal and warehouse infrastructure. Key requirements for modern terminal and logistics centers ensuring perishable cargo handling have been identified. The calculation of the optimal location for the placement of a prospective terminal and logistics center has been performed, taking into account freight traffic flows, infrastructure accessibility, and economic factors. The research results are aimed at improving the efficiency of logistics processes and reducing losses during perishable cargo transportation by rail transport in urban agglomeration conditions.

Keywords: terminal and logistics infrastructure, perishable cargo, logistics processes, food security, urban logistics, continuous cold chain, logistics services, transportation process optimization, cargo storage and handling, logistics clusters.

Введение

Организация снабжения густонаселенных городов и районов продуктами питания — скоропортящимися грузами, которые требуют особых условий транспортировки и хранения (прежде всего — поддержания заданного температурного режима и уровня влажности воздуха), является одним из ключевых факторов, определяющих продовольственную безопасность страны [1].

Поставки скоропортящихся грузов в Москву и Московскую область осуществляются автомобильным, железнодорожным и воздушным транспортом. Это обусловлено сложившейся структурой и географией грузопотоков. Например, рыба и морепродукты из Дальневосточного бассейна рыболовства доставляются преимущественно железнодорожным транспортом (дальность перевозки составляет 9 150 км).

Согласно отчетным данным ОАО «РЖД» объем перевозок рыбы и морепродуктов железнодорожным транспортом в направлении станций Центрального транспортного узла (ЦТУ) за 2022 год составил 310 тыс. тонн, из которых 290,7 тыс. тонн (94%) — в крупнотоннажных рефрижераторных контейнерах. Рыба и морепродукты из других бассейнов рыболовства доставляются в Москву автомобильным транспортом (дальность перевозки составляет 1 200–1900 км).

Методы

В проведенном исследовании использованы следующие научные методы:

1. Анализ и синтез: проведен анализ существующей терминально-складской инфраструктуры для переработки скоропортящихся грузов, а также синтезированы ключевые требования к современным терминально-логистическим центрам;
2. Методы математического моделирования: расчеты оптимального местоположения для размещения терминально-логистического

Важнейшим звеном в непрерывной холодильной цепи поставок скоропортящихся грузов, помимо изотермического подвижного состава, являются стационарные склады-холодильники — перегрузочные складские комплексы и распределительные центры, способные обеспечить поддержание заданного температурного и влажностного режима в процессе хранения [2].

Оптимизация логистики доставки грузов на последней миле и правильный выбор местоположения терминально-складской инфраструктуры имеют важное значение для эффективной работы транспортного комплекса крупных городских агломераций. Последняя миля — этап доставки грузов от распределительного центра непосредственно конечному потребителю, и именно этот участок цепи поставок зачастую оказывается наиболее затратным и трудоемким.

В настоящей статье представлены следующие результаты исследований:

- анализ существующей терминально-складской инфраструктуры ЦТУ для переработки скоропортящихся грузов, прибывающих и отправляющихся железнодорожным транспортом;
- разработка требований к инфраструктуре и выбор оптимальной площадки для размещения современного терминально-логистического центра (ТЛЦ) по переработке скоропортящихся грузов на территории Москвы.

Результаты и обсуждение

Анализ существующей терминально-складской инфраструктуры ЦТУ для переработки скоропортящихся грузов, прибывающих и отправляющихся железнодорожным транспортом

К терминально-складской инфраструктуре для переработки скоропортящихся грузов относят:

– **мультитемпературные склады**, обеспечивающие не менее двух температурных режимов хранения, в том числе:

1. **морозильные склады** — складские комплексы с поддерживаемым температурным режимом от -24 до -18 °C;
2. **холодильные склады** — складские комплексы с поддерживаемым температурным режимом от 0 до $+8$ °C;
3. **Эмпирическое исследование**: проведены выездные мероприятия на железнодорожные станции Московского железнодорожного узла для оценки текущих условий погрузки и выгрузки скоропортящихся грузов;
4. **Экспертные оценки**: применялся метод экспертных оценок для определения весовых коэффициентов критериев при выборе местоположения ТЛЦ.

– **сухие склады** — качественные склады с поддерживаемым температурным режимом не менее +14 °С.

При этом на рынке мультитемпературных складов преобладают холодильные склады — их объем достигает 61% от совокупного предложения мультитемпературных складов. На морозильные склады с низкотемпературным режимом хранения приходится 39%.

Анализ коммерческих предложений на рынке складской недвижимости Москвы и Московской области в 2023 году выявил, что из 27 мультитемпературных складов, функционирующих в пределах ЦТУ, 11 единиц расположено на территории Москвы, 16 — на территории Московской области.

Например, в Москве функционируют 3 мультитемпературных складских комплекса с железнодорожной инфраструктурой, в том числе:

- Хладокомбинат № 14 — примыкает к ст. Очаково I;
- ЗАО «ЛК Очаково» — примыкает к ст. Очаково I;
- СК «Солнцево» — примыкает к ст. Солнечная.

Остальные 8 складов в Москве не имеют железнодорожной инфраструктуры.

Количественное распределение мультитемпературных складов, функционирующих в пределах ЦТУ, представлено на рис. 1.



Рис. 1. Количество мультитемпературных складов в Москве и Московской области, ед.
Источник: авторы исследования

Взаимное расположение складской инфраструктуры на территории Москвы и Московской области представлено на рис. 2.

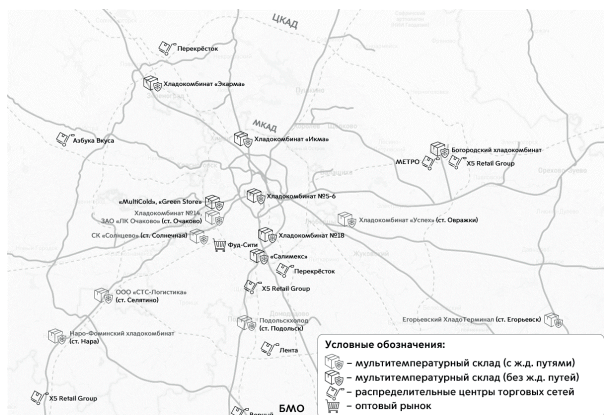


Рис. 2. Мультитемпературные склады в Москве и Московской области.
Источник: авторы исследования

По данным [3], средневзвешенные ставки на складские услуги в Москве и Московской области в конце 2022 года закрепились на уровне 5 700 руб./м² год на прямую аренду и 5 500 руб./м² год на площади в субаренду. В зависимости от пояса удаления склада от МКАД арендные ставки существенно отличаются, как показано на рис. 3.



Рис. 3. Стоимость хранения 1 т груза на складах, расположенных в пределах ЦКАД, руб./сут.
Источник: составлено авторами на основе [3]

Вследствие дефицита складской инфраструктуры на территории Москвы для перегрузки скоропортящихся грузов с железнодорожного транспорта на автомобильный и обратно перевалка таких грузов зачастую производится вне специализированных крытых рамп, защищающих груз от атмосферных осадков и резких перепадов температур.

В рамках настоящего исследования были проведены выездные мероприятия на железнодорожные станции, расположенные в границах Москвы, где осуществляются погрузка и выгрузка скоропортящихся грузов. На рис. 4 представлена фотография, демонстрирующая один из примеров погрузки скоропортящихся грузов в автономный рефрижераторный вагон в летний период года (рекомендуемый температурный режим хранения и перевозки молочных продуктов от +5 до +2 °С; наружная температура воздуха в момент съемки +24 °С). Отметим, что продолжительность погрузки одного рефрижераторного вагона сборным грузом с учетом неравномерности подвода автотранспорта на станцию составляет от 3 до 5 часов: все это время груз не обеспечен требуемыми температурными условиями хранения и не защищен от воздействия прямых солнечных лучей.



Рис. 4. Погрузка молочных продуктов в автономный рефрижераторный вагон в летний период (Москва) в 2023 году. Источник: авторы исследования

Таким образом, можно сделать вывод о дефиците качественной складской инфраструктуры на территории Москвы для переработки скоропортящихся грузов, прибывающих и от-

правляющихся железнодорожным транспортом. Большая часть качественных мультитемпературных складов сосредоточена на территории Московской области.

Разработка требований к инфраструктуре современного терминально-логистического центра для переработки скоропортящихся грузов

Современный ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов представляет собой сложный производственный комплекс, включающий в себя:

- мультитемпературный склад;
- контейнерную площадку для переработки и хранения универсальных и рефрижераторных крупнотоннажных контейнеров;
- автомобильные и железнодорожные подъездные пути;
- таможенный пост;
- пост ветеринарно-санитарного контроля;
- офисные помещения;
- специализированное контейнерное депо для ремонта и обслуживания контейнеров;
- пункт промывки и ветеринарно-санитарной обработки подвижного состава;
- иные здания и сооружения для обеспечения высокой производительности и поточности выполнения складских операций.

Для обеспечения снижения негативного воздействия окружающей среды на скоропортящиеся грузы при выполнении погрузочно-разгрузочных работ грузовые фронты мультитемпературного склада должны иметь ворота докового типа со стороны обработки автомобильного транспорта и крытую рампу со стороны обработки железнодорожного транспорта [4]. С целью снижения нагрузки на основную зону хранения современный мультитемпературный склад может использовать технологию кросс-докинга. Кросс-докинг — это технология перегрузки груза из одного транспортного средства в другое, минуя основные складские площади. Пример организации кросс-докинга при прямой перегрузке скоропортящихся грузов представлен на рис. 5.



Рис. 5. Пример организации кросс-докинга.
Источник: [10]

Масса груза, единовременно находящаяся на хранении в зоне мультитемпературного склада (емкость склада), определяется по формуле (1):

$$E_{\text{скл}} = Q_{\text{сут}} \times t_{\text{хр}} \quad (1)$$

где $E_{\text{скл}}$ — емкость мультитемпературного склада, тонн,

$Q_{\text{сут}}$ — суточный объем грузов, поступающих на хранение, т/сут,

$t_{\text{хр}}$ — продолжительность хранения партии поступившего груза (оборачиваемость складского запаса), сут (принято в расчете — 10 сут).

Суточный объем грузов, поступающих на хранение, определяется по формуле (2):

$$Q_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{год}} \times k_{\text{н}}}{365} \quad (2)$$

где $Q_{\text{сут}}$ — суточный объем грузов, поступающих на хранение, т/сут,

$Q_{\text{год}}$ — предполагаемый годовой объем грузов, поступающих на хранение, т/год (принят в расчете — 310 тыс. т/год),

$k_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности поступления грузов на хранение в течение года (принят в расчете — 1,4),

365 — количество дней в году.

Потребная площадь мультитемпературного склада с учетом вспомогательных помещений определяется по формуле (3):

$$F_{\text{скл}} = k_{\text{пр}} \times \frac{E_{\text{скл}}}{\rho} \quad (3)$$

где $F_{\text{скл}}$ — потребная площадь мультитемпературного склада с учетом вспомогательных помещений, м²,

$k_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий проходы, проезды, вспомогательные помещения склада (принят в расчете — 1,7),

$E_{\text{скл}}$ — емкость мультитемпературного склада, тонн,

ρ — удельная нагрузка на пол склада при стеллажном хранении грузов, т/м² (принят в расчете — 1,5).

Расчет потребной площади мультитемпературного склада:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{310\,000 \times 1,4}{365} = 1\,189 \text{ т/сут}$$

$$E_{\text{скл}} = 1\,189 \times 10 = 11\,890 \text{ т}$$

$$F_{\text{скл}} = 1,7 \times \frac{11\,890}{1,5} = 13\,475 \text{ м}^2$$

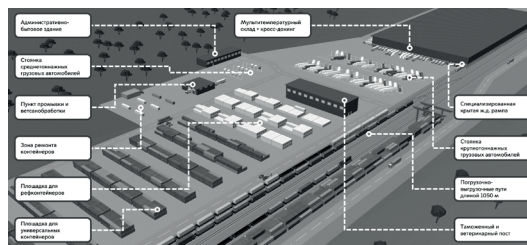
Выбор оптимальной площадки для размещения современного терминально-логистического центра по переработке скоропортящихся грузов на территории Москвы

Местоположение ТЛЦ для переработки продовольственных грузов на территории Москвы оказывает существенное влияние на затраты при транспортировке и хранении грузов, которые в конечном итоге отражаются в стоимости продукции, поступающей к потребителям.

- близость к потребителям поставляемой продукции и предприятиям, осуществляющим производство пищевой продукции;
- присутствие конкурентов на рынке транспортно-логистических услуг;

- наличие земельных участков, пригодных для строительства и последующего развития агрохаба при увеличении объемов переработки грузов на перспективу;
- развитость транспортной инфраструктуры и возможность ее последующего развития по мере роста грузопотоков;
- возможность приема железнодорожных повагонных и маршрутных отправок вагонов и крупнотоннажных контейнеров, исключаящее влияние на пассажирское движение дальних, пригородных и пригородно-городских поездов в условиях увеличения размеров движения в городе на перспективу.

При определении варианта размещения ТЛЦ должен выбираться земельный участок, не требующий существенных затрат на подготовку площадки для осуществления капитального



я современного терминально-логистического в на территории Москвы

Выбираемый земельный участок должен иметь преимущественно прямоугольную форму, ровный продольный и поперечный профиль земляной площадки без существенных перепадов высот. Земельный участок должен иметь достаточную несущую способность грунтов и располагаться вне зон возможных подтоплений.

Линейные размеры земельного участка под строительство ТЛЦ должны обеспечивать размещение объектов терминальной инфраструктуры и быть не менее 1 200 м по длине. В стесненных условиях строительства допускается при технико-экономическом обосновании уменьшение данных размеров.

Минимизация затрат на транспортировку и хранение грузов для рассматриваемого варианта размещения ТЛЦ может достигаться за счет выбора равноудаленного места расположения ТЛЦ от перспективных получателей и отправителей грузов, перерабатываемых на данном ТЛЦ.

Вариант размещения ТЛЦ должен включать в проект строительства контейнерную площадку или располагаться рядом с действующим контейнерным терминалом, что позволит осуществлять обработку грузов, прибывающих или отправляемых в универсальных или специализированных крупнотоннажных контейнерах, без перевозки крупнотоннажных контейнеров на другие ТЛЦ. Земельный участок под строительство ТЛЦ должен иметь резерв для обеспечения перспективного развития ТЛЦ при росте объемов переработки грузов.

Расположение рассматриваемого варианта ТЛЦ должно быть увязано с путевым развитием железнодорожной станции примыкания, открытой для выполнения грузовых операций. Выбор

варианта расположения ТЛЦ и железнодорожной станции примыкания в условиях ЦТУ должен учитывать фактические размеры пассажирского движения в дальнем, пригородном и пригородно-городском видах сообщения с учетом увеличения размеров движения на перспективу. Также при выборе варианта расположения ТЛЦ следует учитывать возможность реконструкции путевого развития железнодорожной станции примыкания при увеличении размеров перерабатываемых вагонопотоков, поступающих в адрес ТЛЦ.

При выборе варианта расположения ТЛЦ необходимо стремиться к максимально близкому расположению ТЛЦ к действующим сортировочным станциям, перерабатывающим местные вагонопотоки в адрес получателей, обслуживаемых железнодорожными станциями ЦТУ. При расположении ТЛЦ вблизи сортировочной станции будет обеспечиваться ускоренное продвижение

вагонопотоков, следующих в адрес перспективного ТЛЦ.

Вариант размещения ТЛЦ должен увязываться с действующей улично-дорожной сетью и не должен оказывать негативного влияния на организацию дорожного движения наземного городского пассажирского транспорта и личных автомобилей жителей. Перспективный ТЛЦ должен примыкать либо к незагруженным участкам улично-дорожной сети города, либо располагаться в местах, позволяющих увеличить пропускную способность примыкающих автодорог.

Основные критерии, определяющие выбор местоположения ТЛЦ на территории Москвы, приведены в таблице 1. Весовые коэффициенты критериев были определены методом экспертных оценок специалистами Российского университета транспорта.

Таблица 1

Основные критерии выбора местоположения ТЛЦ на территории Москвы

№ п/п	Критерий	Весовой коэффициент
1	Наличие пригодной площади под застройку	0,23
2	Величина затрат на доставку (развоз) и хранение	0,20
3	Влияние на пассажирское движение (наличие резерва пропускной способности ж. д. инфраструктуры)	0,17
4	Наличие контейнерной площадки	0,13
5	Возможность расширения территории на перспективу	0,11
6	Близость технической (сортировочной) ж. д. станции	0,08
7	Уровень загруженности существующей УДС	0,08
Итого:		1,00

Источник: составлено авторами на основе опроса экспертов РУТ (МИИТ)

Методика расчета координат площадки для размещения ТЛЦ

На современном этапе развития транспортной науки существует несколько методов решения задачи поиска оптимального местоположения объекта транспортно-логистической инфраструктуры на рассматриваемом полигоне, а именно: *метод полного перебора, эвристический метод, метод тестовой точки, метод поиска центра тяжести грузопотоков (использован в настоящем исследовании)* [5].

Расчет оптимального месторасположения ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов на территории Москвы выполнен на основе следующих исходных данных:

- адреса потребителей грузопотоков морепродуктов, прибывающих в Москву железнодорожным транспортом, а также потенциальных грузоотправителей пищевых грузов;
- объем предполагаемого грузопотока в адрес каждого потребителя/отправителя.

Прежде всего на выбор места расположения

перспективного ТЛЦ будет существенно влиять топология размещения потенциальных пользователей услуг. В качестве потенциальных грузополучателей (предполагаемых потребителей грузов), в адрес которых будут следовать грузопотоки, рассмотрены действующие и перспективные мультитемпературные склады, оптовые рынки, располагающиеся на территории Москвы, а также распределительные центры крупных торговых сетей, обслуживающих население города. В качестве потенциальных грузоотправителей пищевых грузов рассмотрены крупные мясоперерабатывающие предприятия, заводы по производству молочных продуктов, предприятия, осуществляющие розлив алкогольных и безалкогольных напитков. Как видно из рис. 7, наибольшая концентрация потенциальных грузоотправителей и грузополучателей наблюдается в юго-западной и юго-восточной части Москвы и Московской области.

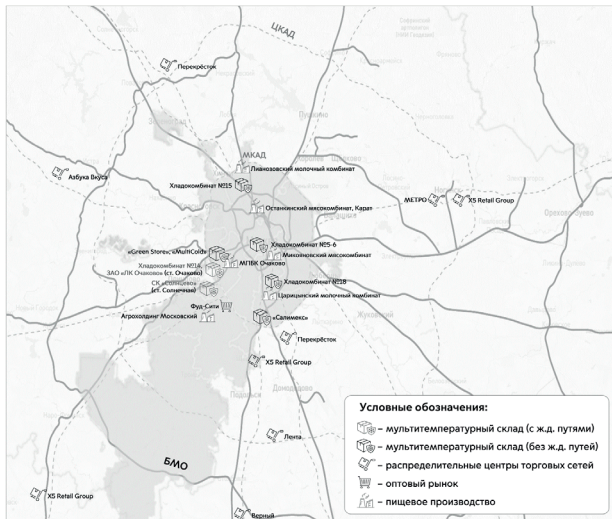


Рис. 7. Топология размещения крупных грузоотправителей и грузополучателей.

Источник: авторы исследования

Совокупный объем отправления скоропортящихся грузов со станций ЦТУ принят на основании отчетных данных ОАО «РЖД» (объемы погрузки скоропортящихся грузов по станциям Московской и Октябрьской железных дорог, входящих в границы Москвы и Московской области). Ввиду отсутствия объективных данных об объемах перевозок грузов в адрес конкретных предприятий их величина определена расчетным способом: было принято допущение, что объем груза, поступающий в адрес конкретного грузополучателя, пропорционален площади складского хранения, которой он располагает.

Определение оптимального местоположения ТЛЦ на карте местности методом поиска центра тяжести грузопотоков определяется:

Для горизонтальной оси X по формуле (4):

$$M_x = \frac{\sum X_i \times Q_i}{\sum Q_i} \quad (4)$$

где M_x — центр тяжести (оптимальное местоположение ТЛЦ) рассматриваемой транспортной системы по горизонтальной оси координат,

X_i — расстояние от начала осей координат до точки, обозначающей местоположения грузополучателя/грузоотправителя грузопотока по горизонтальной оси координат,

Q_i — объем груза, получаемый или отправляемый i -получателем/отправителем, тонн,

$\sum Q_i$ — суммарный объем прибытия и отправления грузов всеми получателями или отправителями на рассматриваемом полигоне обслуживания, тонн.

Для вертикальной оси Y по формуле (5):

$$M_y = \frac{\sum Y_i \times Q_i}{\sum Q_i} \quad (5)$$

где M_y — центр тяжести (оптимальное местоположение ТЛЦ) рассматриваемой транспортной системы по вертикальной оси координат,

Y_i — расстояние от начала осей координат до точки, обозначающей местоположения грузополучателя/грузоотправителя грузопотока по вертикальной оси координат,

Q_i — объем груза, получаемый или отправляемый i -получателем/отправителем, тонн,

$\sum Q_i$ — суммарный объем прибытия и отправления грузов всеми получателями или отправителями на рассматриваемом полигоне обслуживания, тонн.

Для определения координат потенциальных пользователей услугами ТЛЦ был использован сервис «Яндекс.Карты». Каждому пользователю была присвоена метка на картографическом изображении в соответствии с его фактическим адресом. Далее, используя пакет Microsoft Excel, на полученное изображение нанесли координатную сетку в масштабе 120×120 км. На основе изображения, представленного на рис. 8, было произведено определение координат грузополучателей и грузоотправителей ТЛЦ. Полученные значения были сведены в расчетную таблицу и далее, используя вычислительные мощности MS Excel, по формулам (4–5) рассчитано значение координат искомой точки расположения ТЛЦ, равноудаленного от потенциальных пользователей. Координаты искомой точки расположения ТЛЦ:

$$M_{x(opt)} = \frac{30714069,03}{578006,91} = 53,1$$

$$M_{y(opt)} = \frac{33607850,42}{578006,91} = 58,1$$

Позиционирование данной точки на карте соответствует району Москвы Очаково-Матвеевское. Полученный результат объясняется высокой концентрацией мультитемпературных складов и пищевых предприятий, расположенных в пределах указанного района. Кроме того, в рамках программы комплексного развития территорий в районе Очаково-Матвеевское планируется строительство высокотехнологичных предприятий пищевой отрасли [6].



Рис. 8. Определение координат потенциальных грузополучателей и грузоотправителей ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов.
Источник: авторы исследования

С другой стороны, на сегодняшний день отсутствуют техническая и технологическая возможности подвода расчетных грузопотоков в указанный район железнодорожным транспортом. Железнодорожная станция Очаково I, тяготеющая к полученной точке расположения ТЛЦ, входит в полигон работы сервиса МЦД-4 Апрелевка — Железнодорожный [7]. Для обеспечения приема контейнерных поездов, а также возможности беспрепятственной подачи-уборки железно-

рожных вагонов на территорию перспективного ТЛЦ потребуется реконструкция путевого развития и выделение соответствующего земельного участка под размещение ТЛЦ.

Поэтому с целью дополнительного обоснования места размещения перспективного ТЛЦ в границах Москвы были рассмотрены альтернативные (конкурентные) варианты территорий, тяготеющих к железнодорожным станциям Ховрино, Москва-Южный Порт, Кунцево II, Селятино.

Выбор оптимального местоположения ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов на территории Москвы

В качестве одного из критериев выбора местоположения ТЛЦ на территории Москвы (см. таблицу 1) рассматривается значение суммарных затрат на доставку (развоз) и хранение грузов при каждом из вариантов размещения ТЛЦ.

Совокупный объем транспортной работы определяется по формуле (6):

$$T = \sum_{i=1}^n q_i \times d_{0i} \quad (6)$$

где T — транспортная работа, т·км,

q_i — объем перевозки грузов от/до i -го грузоотправителя/получателя, тонн,

d_{0i} — расстояние перевозки от перспективного ТЛЦ до i -го грузоотправителя/получателя, км.

После определения транспортной работы необходимо сравнить варианты по суммарным годовым эксплуатационным затратам, связанным с перевозкой и хранением грузов на ТЛЦ. Как было отмечено выше, затраты на складское хранение и переработку грузов изменяются в сторону уменьшения по мере удаления ТЛЦ от МКАД. Это

связано с разным значением стоимости аренды земельных участков, затрат на оплату труда и коммунальные платежи. Суммарные годовые эксплуатационные затраты определяются по формуле (7):

$$TC = C_{\text{пер}} \times T_i + C_{\text{ар}} \times F_{\text{потр}} \quad (7)$$

где TC — суммарные годовые эксплуатационные затраты, руб.,

$C_{\text{пер}}$ — среднее значение тарифа на перевозку грузов автомобильным транспортом, руб./т·км (в расчете принимается 50 руб./т·км),

T_i — транспортная работа для i -го варианта размещения, т·км/год,

$C_{\text{ар}}$ — рыночная ставка аренды площади склада для i -го варианта размещения, руб./м²·год (принята для вариантов в пределах МКАД — 8 500 руб./м²·год, для варианта в пределах автодороги А-107 — 5 500 руб./м²·год),

$F_{\text{потр}}$ — потребная площадь хранения, м².

Аналогично определяются значения показателей по остальным критериям выбора местоположения ТЛЦ на территории Москвы. Для расчета

итогового рейтинга вариантов необходимо выполнить нормирование критериев, так как все они имеют разную размерность. При нормировании критериям, для которых оптимальным значением является минимальное, единица присваивается минимальному показателю, а остальные вычисляются путем деления значения минимального показателя на соответствующий показатель. Критериям, для которых наилучшим является максимальное значение, единица присваивается максимальному показателю, а остальные вычисляются путем деления их значений на значение максимального показателя. Наихудшим значениям критериев присваивается значение ноль.

Результаты расчета рейтинга возможных вариантов размещения ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы, наилучшим вариантом является вариант размещения ТЛЦ с примыканием к железнодорожной станции Селятино. Несмотря на высокие затраты на доставку и хранение

грузов, такой вариант размещения не оказывает существенного влияния на пассажирское движение в дальнем и пригородном сообщении, предоставляет возможность перспективного развития при увеличении объемов перерабатываемых грузопотоков. Также данный вариант имеет близкое расположение к крупной сортировочной станции Бекасово-Сортировочное. Близким по рейтингу является вариант размещения с примыканием к станции Москва-Южный Порт, где ОАО «РЖД» планирует открытие контейнерного терминала [8].

Самый низкий рейтинг имеет вариант размещения ТЛЦ с примыканием к станции Очаково I. Несмотря на наименьшие затраты на доставку и хранение по сравнению с другими вариантами, данный вариант не имеет достаточной свободной площади земельного участка для строительства ТЛЦ. Также размещение ТЛЦ в данном варианте потребует существенной реконструкции железнодорожной станции примыкания для исключения влияния на пассажирское движение.

Таблица 2

Рейтинг возможных вариантов размещения ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов на территории Москвы

Критерий	ТЛЦ «Очаково»		ТЛЦ «Ховрино»		ТЛЦ «Кунцево»		ТЛЦ «Южный порт»		ТЛЦ «Селятино»	
	Значение	Балл	Значение	Балл	Значение	Балл	Значение	Балл	Значение	Балл
Наличие пригодной площади под застройку	нет	0,00	да	0,23	да	0,23	да	0,23	да	0,23
Величина затрат на доставку (развоз) и хранение	478	0,20	854	0,11	540	0,18	673	0,14	1255	0,08
Влияние на пассажирское движение (наличие пропускной способности ж. д. инфраструктуры)	да	0,00	нет	0,17	нет	0,17	нет	0,17	нет	0,17
Наличие контейнерной площадки	нет	0,00	да	0,13	да	0,13	да	0,13	да	0,13
Возможность расширения территории на перспективу	нет	0,00	нет	0,00	нет	0,00	нет	0,00	да	0,11
Близость ж. д. технической (сортировочной) станции	57	0,01	16	0,02	34	0,01	4	0,08	18	0,02
Уровень загруженности существующей УДС	5	0,03	5	0,03	8	0,02	8	0,02	2	0,07
Итоговое значение рейтинга для варианта	0,24		0,70		0,75		0,78		0,81	

Источник: авторы исследования

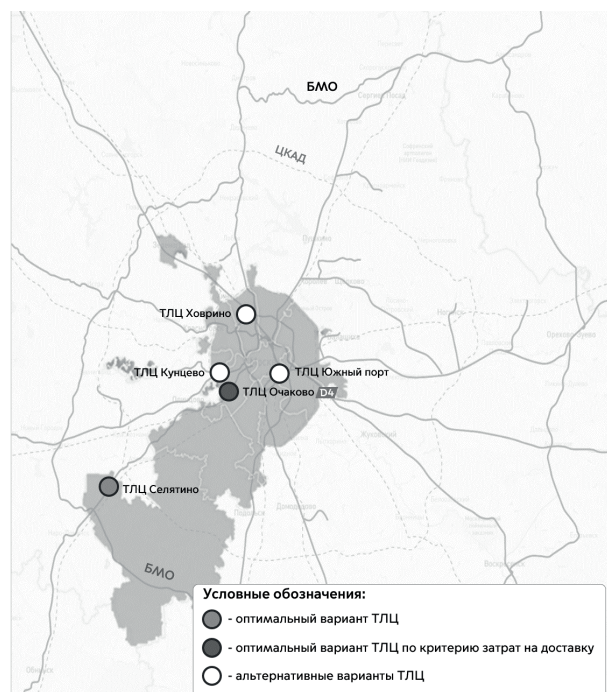


Рис. 9. Расположение сравниваемых вариантов размещения ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов на территории Москвы. Источник: авторы исследования

Заключение

В рамках проведенных исследований выполнен анализ существующей терминально-складской инфраструктуры ЦТУ для переработки скоропортящихся грузов. Сделан вывод о дефиците складской инфраструктуры на территории Москвы для переработки скоропортящихся грузов, прибывающих и отправляющихся железнодорожным транспортом. Большая часть качественных мультитемпературных складов сосредоточена на территории Московской области.

В качестве вектора для развития соответствующей терминально-складской инфраструктуры на территории Москвы разработаны предложения по техническому оснащению и планировке современного ТЛЦ для переработки скоропортящихся грузов. Суммарная площадь, отводимая для строительства ТЛЦ, должна быть не менее 40–60 га, включать современный мультитемпературный склад, железнодорожную инфраструктуру, контейнерный терминал и другие технические сооружения, обеспечивающие функционирование непрерывной холодильной цепи.

Выполнен расчет оптимальной площадки для размещения ТЛЦ по переработке скоропортящихся грузов на территории Москвы. Вариантом с наименьшими затратами на доставку и хранение грузов является строительство перспективного ТЛЦ в районе Очаково-Матвеевское. Однако оптимальным вариантом с учетом комплекса разработанных критериев является ТЛЦ с при-

мыканием к железнодорожной станции Селятино.

Реализация решений, совершенствующих условия доставки скоропортящихся грузов в адрес конечных потребителей в Москве, позволит:

- разгрузить городскую уличную сеть за счет снижения пробега большегрузных автомобилей;
- повысить эффективность использования подвижного состава;
- улучшить экологическую обстановку в городе за счет уменьшения общего количества вредных выбросов в атмосферу автомобильными двигателями и повысить безопасность движения на основе рационализации перевозок грузов в пределах территории города;
- рационализировать использование земельного фонда города на основе высвобождения земельных участков, занятых складскими площадями промышленных предприятий, за счет передачи (полностью или частично) складских функций на близлежащие терминальные комплексы [9];
- снизить грузонапряженность железнодорожных линий, находящихся в черте города, за счет концентрации перевозок грузов в смешанном сообщении на меньшем числе железнодорожных станций;
- улучшить качество организации и значительно увеличить объем перевозок грузов в международном сообщении на основе расширения рынка транспортно-экспедиционных услуг.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации». — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 15.01.2025).
2. Давыдов, Д. О. Комплексная методика установления технологии и контроля перевозки скоропортящихся грузов железнодорожным транспортом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 2.9.4. / Давыдов Денис Олегович; [Место защиты: Российский университет транспорта]. — Москва, 2021. — 24 с.
3. Ricci. Обзор рынка складской и индустриальной недвижимости Московского региона (итоги 2023 года). — URL: <http://riccitech.ru/> (дата обращения: 15.01.2025).
4. ГОСТ Р 58664–2019. Услуги на железнодорожном транспорте. Перевозка скоропортящихся грузов. Общие требования к качеству. — М.: Стандартиформ, 2019. — 17 с.
5. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. 2-е изд. / под ред. В. С. Лукинского. — СПб.: Питер, 2007. — 448 с.
6. По программе комплексного развития территорий в ЗАО построят производства на 16 тысяч рабочих мест. — URL: <https://www.mos.ru/news/item/116791073/> (дата обращения: 22.02.2025).
7. Разработка и реализация целевой схемы маршрутов Московских центральных диаметров / О. Н. Покусаев, А. Е. Чекмарев, М. Л. Овсянников [и др.] // Транспорт Российской Федерации. — 2020. — № 3–4 (88–89). — С. 49–54.
8. Белявский, И. И. О транспортном обслуживании автомобильного завода «Москвич» и предпосылках к созданию нового ТЛЦ «Южный порт» на территории Москвы / И. И. Белявский, Т. И. Каширцева, А. Г. Шаклеин // Кочневские чтения — 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог: тр. II-й Междунар. науч.—практ. конф., Москва, 19–20 апр. 2023 г. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. — С. 419–427.
9. Грефенштейн, А. П. Совершенствование технологии организации грузовых перевозок в крупных городах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Грефенштейн Анна Павловна; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»]. — Новосибирск, 2022. — 23 с.
10. Пример организации кросс-докинга [Электронный ресурс] // Pinterest. — URL: <https://es.pinterest.com/pin/862369028617551943/> (дата обращения: 15.01.2025).

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 21 yanvarya 2020 g. № 20 «Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii» [Electronic resource]. — Access from Garant legal reference system. — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (accessed: 15.01.2025).
2. Davydov D. O. Kompleksnaya metodika ustanovleniya tekhnologii i kontrolya perevozki skoroportyashchikhsya грузов zheleznodorozhnym transportom: avtoref. dissertatsii na soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk: 2.9.4. / Davydov Denis Olegovich; [Mesto zashchity: Rossiiskii universitet transporta]. — Moscow, 2021. — 24 p.
3. Ricci. Obzor rynka skladskoi i industrial'noi nedvizhimosti Moskovskogo regiona (itogi 2023 goda) [Electronic resource]. — URL: <http://riccitech.ru/> (accessed: 15.01.2025).
4. GOST R 58664–2019. Usługi na zheleznodorozhnom transporte. Perevozka skoroportyashchikhsya грузов. Obshchie trebovaniya k kachestvu. — Moscow: Standartinform, 2019. — 17 p.
5. Modeli i metody teorii logistiki: ucheb. posobie. 2-e izd. / pod red. V. S. Lukinskogo. — St. Petersburg: Piter, 2007. — 448 p.
6. Po programme kompleksnogo razvitiya territorii v ZAO postroyat proizvodstva na 16 tysyach rabochikh mest [Electronic resource]. — URL: <https://www.mos.ru/news/item/116791073/> (accessed: 22.02.2025).
7. Pokusaev O. N., Chekmarev A. E., Ovsyannikov M. L. et al. Razrabotka i realizatsiya tselevoi skhemy marshrutov Moskovskikh tsentral'nykh diametrov. — Transport Rossiiskoi Federatsii, 2020, no. 3–4 (88–89), pp. 49–54.
8. Belyavskii I. I., Kashirtseva T. I., Shaklein A. G. O transportnom obsluzhivanii avtomobil'nogo zavoda «Moskvich» i predposylkakh k sozdaniyu novogo TLTs «Yuzhnyi port» na territorii Moskvyy. — Kochnevskie chteniya — 2023:

sovremennaya teoriya i praktika ekspluatatsionnoi raboty zheleznnykh dorog: trudy II-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 19–20 aprelya 2023 g. — Moscow: Rossiiskii universitet transporta (MIIT), 2023. — pp. 419–427.

9. Grefenshtein A. P. Sovershenstvovanie tekhnologii organizatsii gruzovykh perevozok v krupnykh gorodakh: avtoref. dissertatsii na

soiskanie stepeni kand. tekhn. nauk: 05.22.08 / Grefenshtein Anna Pavlovna; [Mesto zashchity: FGBOU VO «Sibirskii gosudarstvennyi universitet putei soobshcheniya»]. — Novosibirsk, 2022. — 23 p.

10. Example of cross-docking organization [Internet resource] // Pinterest. — URL: <https://es.pinterest.com/pin/862369028617551943/> (accessed: 15.01.2025).

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Шаклеин Артем Глебович начальник информационно-аналитического отдела Центра компетенций ВСМ Передовой инженерной школы «Академия ВСМ», РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 ORCID: 0009–0009–7072–1608 E-mail: a.shaklein@rut.digital	Shaklein Artem Glebovich Head of Information and Analytical Department, HSR Competence Center, Advanced Engineering School «HSR Academy», RUT (MIIT) Address: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport», 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 9 ORCID: 0009–0009–7072–1608 E-mail: a.shaklein@rut.digital
Кожемякина Ксения Александровна заместитель начальника информационно-аналитического отдела Центра компетенций ВСМ Передовой инженерной школы «Академия ВСМ», РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 ORCID: 0009–0005–6554–7001 E-mail: x.kozhemyakina@rut.digital	Kozhemyakina Ksenia Aleksandrovna Deputy Head of Information and Analytical Department, HSR Competence Center, Advanced Engineering School «HSR Academy», RUT (MIIT) Address: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport», 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 9 ORCID: 0009–0005–6554–7001 E-mail: x.kozhemyakina@rut.digital
Можчеров Александр Васильевич специалист Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Передовой инженерной школы «Академия ВСМ», РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 ORCID: 0009–0004–6682–4958 E-mail: a.mozhcherov@rut.digital	Mozhcherov Aleksandr Vasilievich Specialist, Research and Educational Center «Digital High-Speed Transport Systems», Advanced Engineering School «HSR Academy», RUT (MIIT) Address: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport», 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 9 ORCID: 0009–0004–6682–4958 E-mail: a.mozhcherov@rut.digital

УДК 502.2

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА АЛЬГОЛИЗАЦИИ ВОДОЕМОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

М. А. Масалова

ФГБУН «Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук»

Ш. Р. Поздняков

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Н. А. Политаева

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема загрязнения водных объектов и негативное влияние антропогенной эвтрофикации на водные экосистемы. Эвтрофикация не только ухудшает экологическую ситуацию на водных объектах, но и создает реальные препятствия для эффективной и безопасной работы водного транспорта, вызывая засоры и повреждения судовых механизмов. Для предотвращения подобных рисков предложено проведение биологической реабилитации водоема методом альголизации для снижения уровня загрязняющих веществ и предотвращения цианобактериального цветения водных объектов. Обсуждаются дискуссии вокруг эффективности метода альголизации. Описан опыт применения альголизации в Кожуховском затоне реки Москвы представителем зеленых микроводорослей — штаммом *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW. Результаты альголизации оцениваются по структурно-функциональным характеристикам фитопланктона и по содержанию фикоцианина — пигмента, характерного для цианобактерий. Фикоцианин обладает уникальными оптическими свойствами и используется для мониторинга биомассы цианобактерий. В рамках исследования были проведены измерения показателей фикоцианина в акватории реки Москвы с помощью многопараметрического зонда Aqua TROLL 600.

Ключевые слова: альголизация, цветение, цианобактерии, фитопланктон, хлорелла, фикоцианин.

UDC 502.2

EVALUATION OF ALGALIZATION METHOD EFFICIENCY FOR WATER BODIES TO ENSURE SAFE WATER TRANSPORT OPERATION

M. A. Masalova

St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

S. R. Pozdnyakov

Russian State Hydrometeorological University

N. A. Politaeva

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Abstract. This study addresses the problem of water body pollution and the negative impact of anthropogenic eutrophication on aquatic ecosystems. Eutrophication not only deteriorates the ecological situation in water bodies but also creates significant obstacles for efficient and safe water transport operations, causing blockages and damage to vessel mechanisms. To prevent such risks, biological rehabilitation of water bodies through algalization is proposed to reduce pollutant levels and prevent cyanobacterial blooms. Discussions surrounding the effectiveness of the algalization method are examined. The experience of algalization application in the

Kozhukhovskiy backwater of the Moscow River using green microalgae representative — *Chlorella kessleri* strain VKPMA1-11 *ARM*—is described. Algalization results are evaluated based on structural and functional characteristics of phytoplankton and phycocyanin content—a pigment characteristic of cyanobacteria. Phycocyanin possesses unique optical properties and is used for monitoring cyanobacterial biomass. Within the framework of this research, phycocyanin measurements were conducted in the Moscow River waters using the Aqua TROLL 600 multiparameter probe.

Keywords: algalization, blooming, cyanobacteria, phytoplankton, chlorella, phycocyanin.

Введение

В современном мире проблема загрязнения водных объектов становится все более актуальной [1, 2]. Одним из негативных последствий антропогенного воздействия на водные экосистемы является эвтрофикация — процесс обогащения воды биогенными элементами, который приводит к чрезмерному развитию водорослей и других водных организмов. Цветение воды может регистрироваться в пресных, солоноватоводных и морских экосистемах [3, 4]. Эвтрофикация, спровоцированная антропогенным воздействием, оказывает наибольшее негативное воздействие на экосистемы [5], представляя серьезную угрозу как для флоры и фауны, так и для водного объекта в целом [6, 7]. Проблема является особенно актуальной в условиях Москвы, где с прошлого года запустили регулярные городские речные маршруты. Эвтрофикация может влиять на работу водного транспорта. Образующиеся при цветении хлопьевидные и пленочные скопления водорослей на поверхности воды создают опасные условия для судов, вызывая засоры и повреждения судовых механизмов, усложняют управление и маневрирование. Высокий уровень эвтрофикации способствует ухудшению видимости и снижению качества воды, что негативно сказывается на навигационной безопасности и требует дополнительных мер по обеспечению безопасной эксплуатации водного транспорта. В связи с массовым распространением антропогенного эвтрофирования водных объектов [8, 9] активное развитие получило и противодействующее этому научное направление, фокусирующееся на биологической реабилитации водоемов. Оно предполагает комплекс мер, направленных на снижение уровня загрязняющих веществ, повышение санитарного качества воды и предотвращение цианобактериального цветения [10].

Одним из методов биологической реабилитации является метод альголизации — введение определенных видов водорослей для улучшения качества воды. Ввиду того, что между зелеными и сине-зелеными водорослями (цианобактериями) складываются антагонистические отношения, зеленые микроводоросли подавляют развитие

цианобактерий при прямой конкуренции за питательные вещества, в основном за азот и фосфор [11, 12]. Во многих исследовательских работах представлены результаты изучения метода альголизации для борьбы с цианобактериальным цветением водоемов. Так, в совместном международном исследовании Нкурунзиза Реми Марии и Анциферовой Галины Аркадьевны было доказано, что микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АРМ смогли подавить развитие цианобактерий в Саввинском пруду Москвы [9]. К выводам о положительном воздействии альголизации на водные объекты при цианобактериальном цветении также приходили и другие независимые ученые [13–15].

Однако следует отметить, что метод альголизации является предметом дискуссий в научной среде. После публикации монографии Н. И. Богданова «Биологические основы предотвращения цветения Пензенского водохранилища сине-зелеными водорослями» [16] в 2007 году коллектив авторов из различных научных институтов выпустил рецензию, в которой выразил сомнения в эффективности предложенного метода. В рецензии указывалось на несостоятельность рекламируемого способа борьбы с цианобактериальным цветением и необходимость критического подхода к подобным рекомендациям. На XI Съезде гидробиологического общества при Российской академии наук в 2014 году принято решение считать метод альголизации водоемов ложным и наносящим значительный ущерб российской гидробиологии [17].

Метод альголизации является предметом оживленных дискуссий в научном сообществе и за рубежом. Специалисты активно обмениваются мнениями о потенциальных преимуществах и возможных рисках этого метода, что свидетельствует о его актуальности и сложности. На основании публикаций зарубежных ученых [18–23] можно сделать вывод, что цианобактерии могут оказывать аллелопатическое воздействие на зеленые водоросли, включая *Chlorella vulgaris*. Это воздействие может проявляться в виде подавления роста зеленых водорослей или изменения

их морфологических характеристик. Результаты исследований указывают на то, что выделение аллелохимикатов цианобактериями может влиять на экосистему водоемов и усложнять процессы, связанные с альголизацией. В частности, попытки использовать микроводоросли *Chlorella* для борьбы с цианобактериальным цветением водных объектов могут быть неэффективными из-за подавляющего воздействия со стороны цианобактерий.

Методы

Реабилитация водоема проводилась представителем зеленых микроводорослей — штаммом *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW. Штамм был запатентован НПО «Альгобиотехнология» [24]. Метод альголизации использовали по технологии, представленной в ГОСТ 59977–2022 [25].

Штамм *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW является более современным прототипом штамма *Chlorella vulgaris* № С-111. Данный штамм способен расти в промышленных культиваторах при температуре от +25 до +30 °С, а в водоемах сохраняться при температуре от +4 до +16 °С и расти при температуре от +17 до +30 °С. Штамм отличается высокой продуктивностью при выращивании в промышленных установках, способен размножаться сезонно в естественных водоемах и развиваться круглый год в промышленных культиваторах. Штамм адаптирован к условиям водоемов в разных климатических зонах и к воде из различных регионов, что подходит для его промышленного культивирования. Штамм *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW продемонстрировал свою эффективность в проектах по биологической реабилитации, которые проводились НПО «Альгобиотехнология». Во всех проектах отмечалось снижение биомассы планктонных микроводорослей после применения альголизанта [26–30].

Кожуховский затон — часть старого русла реки Москвы, образованный в середине 1960-х годов при строительстве Нагатинского спрямления. Затон имеет длину 1,1 км и ширину от 180 до 285 метров. К правому берегу примыкает парк Нагатинская пойма с древесными насаждениями, заболоченными участками и лугами. В западное окончание затона сбрасываются подогретые городские воды, что способствует массовому распространению валлиснерии спиральной (*Vallisneria spiralis*). Отдельные участки затона используются как кладбище речных судов.

В рамках данной работы было произведено внесение фотосинтезирующих водорослей — хлореллы *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW в Кожуховский затон реки Москвы. Методика

Таким образом, возникла необходимость в проведении серии независимых экспериментов по изучению метода альголизации для подавления цианобактериального цветения водоемов.

Объектом настоящего исследования являлся Кожуховский затон реки Москвы.

Цель исследования — оценка эффективности метода альголизации для регулирования цианобактериального цветения в акватории Кожуховского затона реки Москвы.

проведения годового цикла альголизации предполагает несколько этапов, связанных с разными гидрологическими режимами. Первое подледное вселение хлореллы проводится в начале весны и является основным. Затем проводится послепаводковое (конец мая) и летнее вселение (июль) [11]. Согласно методике, вселение альголизанта в водный объект необходимо провести не менее трех раз в течение вегетационного периода цианобактериального цветения. Однако при проведении рекогносцировочных обследований Кожуховского затона было выявлено цветение в застойных частях исследуемого водного объекта после второго внесения.

В ходе проведенных консультаций с разработчиком ГОСТ 59977–2022 ООО НПО «Альгобиотехнология» [25] было принято решение о внесении корректировок в методику альголизации Кожуховского затона. В результате была составлена следующая методика проведения экспериментов по изучению процесса альголизации Кожуховского затона: три внесения *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW в акваторию затона по плану работ: 30.03.2024, 03.06.2024 и 20.07.2024, а также два дополнительных внесения *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW (по предложению производителя) по плану: 22.08.2024 и 24.09.2024. Также производителем было предложено дополнительное вселение данного штамма в водную массу Кожуховского пруда, гидравлически связанного с Кожуховским затоном, для дополнительной подпитки затона новыми порциями микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW в течение вегетационного периода. Всего за весь период работы в акваторию Кожуховского затона было внесено 1 130 литров фотосинтезирующих микроводорослей хлореллы *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW.

Фитопланктон играет ключевую роль в оценке экологического состояния водных объектов, поскольку он находится в основании трофической пирамиды и первый принимает на себя оказываемое воздействие. Фитопланктон и другие водо-

рослевые сообщества являются удобными объектами для биомониторинга, так как они быстро и комплексно реагируют на внешние воздействия [31]. В течение годового цикла альголизации проводили отбор и обработку проб фитопланктона

по стандартным методикам [32, 33]. Сезонная динамика фитопланктона по общей биомассе и по биомассе цианобактерий в течение вегетационного сезона 2024 году в Кожуховском затоне представлена на рисунке 1.

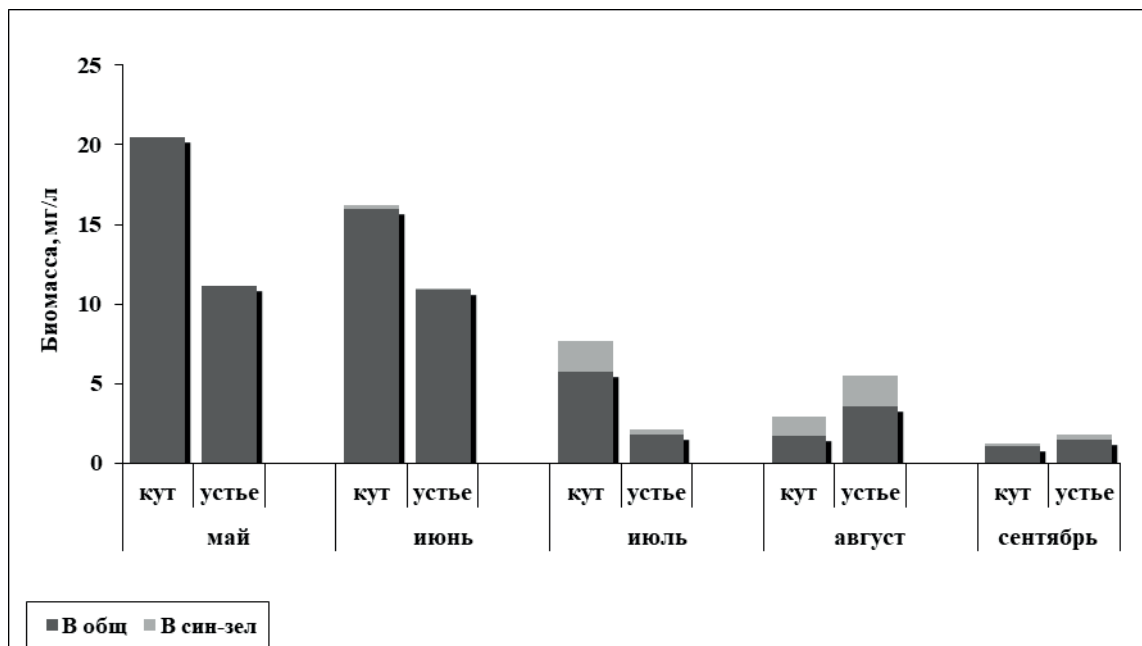


Рис. 1. Сезонная динамика общей биомассы и биомассы цианобактерий в течение вегетационного сезона 2024 году в Кожуховском затоне, где $V_{\text{общ}}$ — общая биомасса, $V_{\text{син-зел}}$ — биомасса сине-зеленых водорослей.

Источник: авторы исследования

Лидирующее положение по видовому богатству занимали диатомовые водоросли (общего числа обнаруженных таксонов). В планктоне чаще всего встречались представители центрических диатомей — виды родов *Cyclotella*, *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos*, имеющих разные размерные характеристики. Видовое богатство зеленых водорослей возросло после схода льда, за счет появления видов из родов *Pandorina*, *Coenococcus*, *Coenochloris*, *Scenedesmus*. Разнообразие водорослей других отделов было значительно ниже, большинство из которых встречались единично. Разнообразие сине-зеленых водорослей увеличилось к июню. Среди них появились широко распространенные виды родов *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Dolichospermum*, которые, как правило, являются возбудителями цветения воды. В июле и августе видовое богатство фитопланктона увеличивалось за счет появления и развития видов родов *Dolichospermum*, *Chroococcus* и др. из сине-зеленых и зеленых хлорококковых водорослей [34].

Следует отметить, что в июле и августе сине-зеленые водоросли (цианобактерии) развивались в более значительных количествах, но не достигали степени интенсивного цветения воды, так как их биомасса не превышала 10 мг/л, что является

критерием уровня интенсивного цветения.

В сентябре в составе фитопланктона Кожуховского затона отмечалось около 30 видов водорослей, среди которых преобладали диатомовые и криптофитовые водоросли. Количественные показатели в этот период значительно снижались (рис. 1). В кутовой части и устье затона биомасса фитопланктона изменялась от 1,2 до 1,8 мг/л соответственно. Она определялась развитием *Aulacoseira granulata* и *Skeletonema subsalsum*, а также видами рода *Cryptomonas*, а по численности доминировали сине-зеленые — *Aphanocapsa delicatissima*, *Microcystis aeruginosa* и *M. wesenbergii*. Развитие сине-зеленых водорослей наблюдалось в июле и августе, когда их вклад в общую биомассу составлял 12–39% (рис. 1). В сентябре роль сине-зеленых водорослей снижалась, их вклад в общую биомассу был незначительным.

Максимальное развитие фитопланктона в затоне было отмечено в мае — незначительно выше, чем в июне. Следует отметить, что при анализе проб фитопланктона в них не было выявлено видов рода *Chlorella*. Возможно, внесенного количества водорослевой суспензии не хватило для ее значительного развития в водоеме, либо условия в нем не обеспечивали нормальной жизнедея-

тельности водорослей. Начиная с июля в затоне происходило снижение количественного развития фитопланктона, и в составе фитопланктона появились сине-зеленые водоросли. Снижение количества фитопланктона, скорее всего, связано со значительным развитием высшей водной

растительности в этом затоне, чем с внесением штамма хлореллы. Снижение количественного развития происходило в период максимального развития макрофитов, которое приходится, как правило, на вторую половину лета.

Результаты и обсуждение

Кожуховский затон реки Москвы относится к заросшим водоемам. В ходе обследования макрофитных сообществ на акватории затона была определена степень его зарастания, которая составила 71%. Основу макрофитного сообщества формируют тростник южный (*Phragmites australis*) и рогоз (*Typha*). Кроме того, было от-

мечено сплошное покрытие дна наядой морской (*Najas marina*) и роголистником темно-зеленым (*Ceratophyllum demersum*). Структурно-функциональные характеристики фитопланктона Кожуховского затона реки Москвы в течение вегетационного сезона представлены в таблице 1.

Таблица 1

Структурно-функциональные характеристики фитопланктона Кожуховского затона реки Москвы в 2024 году

Станции	Содержание хлорофилла-а	Содержание каротиноидов	$C_{кар.}/C_{хлор.}$	Индекс Шеннона	Индекс сапробности
Март					
Кож. кут.	1,98	2,57	1,30	1,61	2,0
Кож. устье	0,52	0,625	1,20	1,91	2,0
Июнь					
Кож. кут.	40,5	33,2	0,82	3,3	2,0
Кож. устье	21,2	15,3	0,72	3,4	2,0
Июль					
Кож. кут.	85,7	67,9	0,79	2,55	2,1
Кож. устье	83,8	49,2	0,58	2,3	2,0
Июль					
Кож. кут.	27,5	18,6	0,67	3,0	1,89
Кож. устье	16,4	13,2	0,81	2,77	1,62
Август					
Кож. кут.	18,1	16,2	0,89	2,4	2,11
Кож. устье	21,0	20,7	0,99	2,7	1,9

Обозначения: содержание хлорофилла-а и каротиноидов (мкг/л), индекс Шеннона (бит₂)

Согласно таблице 1 содержание хлорофилла-а в подледной воде не отличалось от величин, приводимых в литературе для подледного планктона [35–37]. Далее содержание хлорофилла а и каротиноидов сильно возрастало в течение периода альголизации. В марте отношение $C_{кар.}/C_{хлор.}$ превышало 1, что определяет состояние вод как мезотрофные, относящиеся каротиноидному типу, это объясняется условиями подледного существования. После схода льда отношение $C_{кар.}/C_{хлор.}$ в Кожуховском затоне стало меньше 1, что определяет высокий трофический статус их вод и «хлорофильный» тип водоема.

В соответствии с таблицей 1 величины индекса Шеннона после схода льда были высо-

кими, что указывало на стабильное состояние фитопланктонных сообществ. Величины индекса разнообразия Шеннона в затоне были наиболее высокими в июле и незначительно снижались в августе. Индекс Шеннона определяет разнообразие и устойчивость сообществ.

Величины индекса сапробности были устойчивыми на протяжении всего периода исследований и менялись в очень узких пределах. В соответствии с таблицей 1 величины этого индекса варьировались в пределах β-мезосапробной зоны самоочищения. Таким образом, опираясь на величины этого индекса, воды затонов можно отнести к III классу чистоты вод — слабо загрязненные воды. Используя шкалу трофности И. С. Трифо-

новой [35], исследованный затон по биомассе и содержанию хлорофилла-*a* можно отнести к эвтрофному водоему. В целом экологическое состояние Кожуховского затона можно считать удовлетворительным.

Для оценки цианобактериального цветения водных объектов применяют показатель хлорофилла-*a*, однако он не совсем точен, поскольку встречается в различных группах фитопланктона. Более достоверным методом считается определение фикоцианина — пигмента, который характе-

рен именно для цианобактерий.

Фикоцианин обладает уникальными оптическими свойствами и используется для мониторинга биомассы цианобактерий. В рамках работы были выполнены измерения показателей фикоцианина в относительных единицах флуоресценции (ОЕФ) в акваториях реки Москвы с помощью многопараметрического зонда Aqua TROLL 600. Результаты анализа полученных измерений параметров на фикоцианин (*BGA-PC*) представлены в таблице 2 и на рисунках 3, 4.

Таблица 2

Максимальные, минимальные и средние значения относительных единиц флуоресценции фикоцианина (ОЕФ) в водных объектах реки Москвы

Наименование водного объекта	Максимальное значение флуоресценции фикоцианина (<i>BGA-PC</i>), ОЕФ	Минимальное значение флуоресценции фикоцианина (<i>BGA-PC</i>), ОЕФ	Среднее значение флуоресценции фикоцианина (<i>BGA-PC</i>), ОЕФ	Количество измерений, шт.
Кожуховский затон	55,65	0,66	1,75	3 610
Кожуховский пруд	155,1	0,61	8,19	1 209

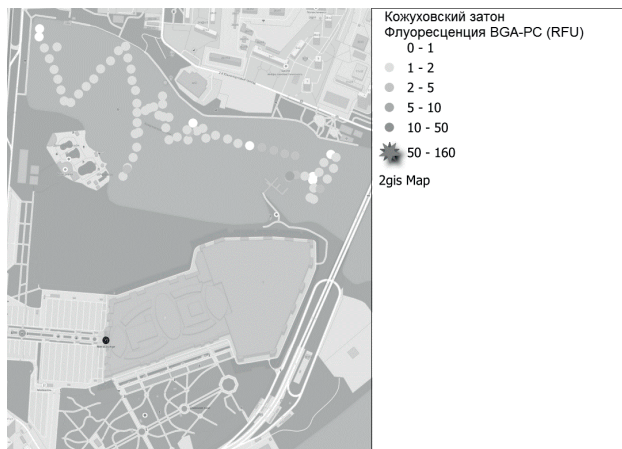


Рис. 3. Карта с описанием точек пробоотбора для измерения показаний на фикоцианин (*BGA-PC*) на Кожуховском затоне. Источник: авторы исследования

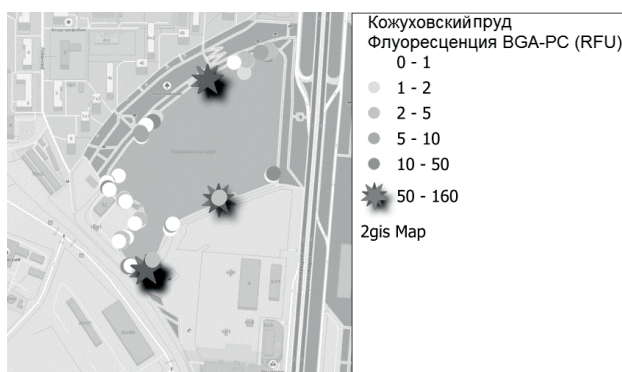


Рис. 4. Карта с описанием точек пробоотбора для измерения показаний на фикоцианин (*BGA-PC*) на Кожуховском пруду. Источник: авторы исследования

Распределение концентраций фикоцианина на Кожуховском затоне являются результирующей иллюстрацией совокупного воздействия аборигенной воздушно-водной и погруженной растительности и возможного влияния микроводорослей *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 *ARW*, которые были использованы на данном затоне.

На преимущественное влияние высшей водной растительности в регулировании цианобактериального цветения в данном затоне указывает, что при господствующем воздействии микроводорослей *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 *ARW* распределение концентраций фикоцианина было бы более равномерным. Здесь же наблюдаются пониженные значения концентраций фикоцианина в кутовой части, именно в области максимального распространения высшей водной растительности.

В то же время Кожуховский пруд, лишенный такого обилия высшей водной растительности, и на водную массу которого преимущественно воздействовали только микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 *ARW*, является наиболее неблагоприятным. При этом следует отметить, что условия для апробирования метода воздействия на водный объект через использование микроводорослей *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 *ARW* в Кожуховском пруду наиболее оптимальные для метода: мелководный прогреваемый пруд небольшого объема с благоприятными условиями для быстрого распространения микроводорослей *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 *ARW* по всей водной массе.

Заключение

Таким образом, результаты проведенных работ в системе Кожуховский затон—Кожуховский пруд не позволяют рекомендовать применение метода вселения штамма микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 АRW для противодействия

цианобактериальному цветению водных объектов, по крайней мере, в физико-географических и гидрометеорологических условиях города Москвы.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках НИР «Выполнение исследовательских работ по отработке технологических и конструктивных решений по оценке эффективности комплексного применения апробированных методов подавления

развития сине-зеленых водорослей в акватории реки Москвы в целях эффективной эксплуатации электрического водного транспорта в городе Москве» по соглашению № 6174–901112–2025 от 30.04.2025.

Список литературы

1. Кутявина Т.И. Изучение процессов эвтрофикации водных объектов Кировской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т.И. Кутявина. — Киров, 2017. — 20 с.
2. Schwarzenbach R. P., Egli T., Hofstetter T. B., von Gunten U., Wehrli B. Global water pollution and human health // *Annual Review of Environment and Resources*. — 2010. — Vol. 35. — P. 109–136.
3. Lopez C. B., Jewett E. B., Dortch Q. [et al.]. Scientific assessment of freshwater harmful algal blooms. — Washington, DC: Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology, 2008. — 79 p.
4. Wurtsbaugh W. A., Paerl H. W., Dodds W. K. Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. — 2019. — Vol. 6, no. 5. — e1373.
5. Ашихмина Т.Я., Кутявина Т.И., Домнина Е.А. Изучение процессов эвтрофикации природных и искусственно созданных водоемов (литературный обзор) // *Теоретическая и прикладная экология*. — 2014. — № 3. — С. 6–13.
6. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов / Н.И. Богданов. — 3-е изд., доп. и перераб. — Пенза: РИО ПГСХА, 2008. — 126 с.
7. Chen S., Xie Q., Fu M., Jiang T., Wang Y.—M., Wang D.—Y. Phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in typical tributary reservoirs of the Three Gorges Reservoir // *Huan Jing Ke Xue*. — 2021. — Vol. 42, no. 5. — P. 2303–2312.
8. Шилькрот Г.С. Причины антропогенного эвтрофирования водоемов // *Общая экология. Биоценология. Гидробиология*. — М., 1975. — Т. 2. — С. 61–99.
9. Nkurunziza R. M., G. A. A. Rehabilitation of surface water of the Savvinky pond (Moscow) using algolization method with *Chlorella kessleri* ВРКМА1-11 ARM // *Journal of Materials and Environmental Science*. — 2024. — Vol. 15, no. 10. — P. 1456.
10. Лухтанов В.Т., Кульнев В.В. Биологическая реабилитация водоемов посредством структурной перестройки фитопланктонного сообщества // *Труды Географического общества Республики Дагестан*. — 2013. — № 41. — С. 140–143.
11. Кульнев В.В., Почечун В.А. Применение альголизации питьевых водоемов Нижнетагильского промышленного узла // *Медицина труда и промышленная экология*. — 2016. — № 1. — С. 20–22.
12. Mamanazarova K. S. Seasonal development of algae indicators of saprobity in lower reaches of the Zeravshan River (Republic of Uzbekistan) // *International Journal on Algae*. — 2014. — Vol. 16, no. 2.
13. Tekebayeva Z., Rakhymzhan Z., Bazarkhankyz A., Temirbekova A., Beisenova R., Kulagin A. Experience of algolization of Lake Maibalyk (Astana, Kazakhstan) // *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. — 2025. — P. 29–42.
14. Melihov V., Frolova M., Medvedeva L. Development of biomelioration of fresh water bodies on the basis of environmental technology—algolization // *Melioration and Water Management*. — 2021. — P. 13–19.
15. Sboichakov V., Kulev D., Reshetnikova O., Osipova T., Kovaleva L. Features of the bioecological state of water bodies in the Leningrad region and de-eutrophication measures // *E3S Web of Conferences*. — 2021.
16. Богданов Н.И., Парамонов В.К. Роль растительных рыб в биологической мелио-

рации Пензенского водохранилища // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: сб. материалов науч.— практ. конф.— Пенза, 2003.— С. 21–22.

17. Решение XI съезда Гидробиологического общества при Российской академии наук, Красноярск, 22–26 сентября 2014 г.— Красноярск: 2014.

18. Dong J. [et al.]. Effects of toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* on the morphology of green alga *Chlorella vulgaris* // *Annales de Limnologie— International Journal of Limnology*.— 2019.— Vol. 55.— P. 7.

19. Žak A., Kosakowska A. Allelopathic influence of cyanobacteria *Microcystis aeruginosa* on green algae *Chlorella vulgaris* // *Insights on Environmental Changes: Where the World Is Heading*.— 2014.— P. 141–150.

20. Leão P. N., Vasconcelos M. T. S. D., Vasconcelos V. M. Allelopathic activity of cyanobacteria on green microalgae at low cell densities // *European Journal of Phycology*.— 2009.— Vol. 44, no. 3.— P. 347–355.

21. Figueiredo D. R. [et al.]. *Aphanizomenon flos-aquae* grown under different nutrient concentrations and the effects of its exudates on growth of two green algae.— 2004.

22. Žak A., Musiewicz K., Kosakowska A. Allelopathic activity of the Baltic cyanobacteria against microalgae // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.— 2012.— Vol. 112.— P. 4–10.

23. Śliwińska S., Latała A. Allelopathic effects of the cyanobacteria *Nodularia spumigena* on green algae *Chlorella vulgaris* and *Oocystis submarina*.— 2011.

24. Патент RU2585523 C1. Планктонный штамм *Chlorella kessleri* для предотвращения цветения водоемов синезелеными водорослями / заявитель: Богданов Н. И.— Оpubл. 27.05.2016.— Бюл. № 15.

25. ГОСТ Р 59977–2022. Биологическая безопасность. Обезвреживание и утилизация биологических и органических материалов.— М., 2022.— 12 с.

26. ООО НПО «Альгобиотехнология». Отчет по муниципальному контракту № 265 на выполнение работ по биологической реабилитации водоемов, расположенных на территории городского округа Балашиха, от 27.05.2016 года: отчет о НИР.— Воронеж, 2016.— 111 с.

27. ООО НПО «Альгобиотехнология». Отчет по муниципальному контракту № 0118300006916000074–0219873–02 по проведению биологической реабилитации озера Копыт-

ко методом коррекции альгоценоза в 2016 году: отчет о НИР.— Воронеж, 2016.— 72 с.

28. ООО НПО «Альгобиотехнология». Отчет по дополнительному соглашению № 10022313 от 01.09.2020 к договору № 10022313 от 01.08.2020 «Биологическая реабилитация Баландинского пруда — водоема-приемника сточных вод АО “Челябинский металлургический комбинат” методом коррекции альгоценоза в 2020 году»: отчет о НИР.— Воронеж, 2020.— 75 с.

29. ООО НПО «Альгобиотехнология». Отчет по муниципальному контракту № 08483000641190000740001 от 30.04.2019 года «Выполнение работ по биологической реабилитации водоемов, расположенных на территории городского округа Балашиха»: отчет о НИР.— Нововоронеж, 2019.— 117 с.

30. ООО НПО «Альгобиотехнология». Отчет по муниципальному контракту № 0118300006918000038–0219873–01 от 13.06.2018 на оказание услуг для муниципальных нужд муниципального образования Усть-Лабинское городское поселение в составе муниципального образования Усть-Лабинский район: отчет о НИР.— Нововоронеж, 2018.— 44 с.

31. Шаланда И. А. Водоросли — основные индикаторы экологического состояния реки // Сборник материалов республиканской научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Парамея Владимира Трофимовича, Гродно, 29–30 апреля 2021 года.— Гродно: Гродненский государственный медицинский университет, 2021.— С. 518–519.

32. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова.— Л.: Гидрометеиздат, 1983.— 239 с.

33. Макарова И. В., Пикчилю Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // *Ботанический журнал*.— 1970.— Т. 55, № 10.— С. 1488–1494.

34. Политаева Н. А., Масалова М. А. Применение метода альголизации для снижения содержания цианобактерий // *Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сб. науч. трудов (VI Всерос. науч.— практ. конф. в рамках VI Всерос. науч.— общ. форума «Экологический форсайт»)*, Саратов, 30–31 октября 2024 года.— Саратов: Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., 2024.— С. 141–145.

35. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона.—Л.: Наука, 1990.—184 с.
36. Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and

natural phytoplankton // *Biochem. Physiol. Pflanz.*— 1975.— Vol. 167.— P. 191–194.
37. Корнева Л. Г. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги / Л. Г. Корнева.— Кострома: Филигрань, 2015.— 284 с.

References

1. Kutyavina T. I. *Izuchenie protsessov evτροφikatsii vodnykh ob'ektov Kirovskoi oblasti* [Study of eutrophication processes in water bodies of the Kirov region]: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk / T. I. Kutyavina.— Kirov, 2017.— 20 p.
2. Schwarzenbach R. P., Egli T., Hofstetter T. B., von Gunten U., Wehrli B. Global water pollution and human health // *Annual Review of Environment and Resources.*— 2010.— Vol. 35.— P. 109–136.
3. Lopez C. B., Jewett E. B., Dortch Q. [et al.]. Scientific assessment of freshwater harmful algal blooms.— Washington, DC: Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology, 2008.— 79 p.
4. Wurtsbaugh W. A., Paerl H. W., Dodds W. K. Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water.*— 2019.— Vol. 6, no. 5.— e1373.
5. Ashikhmina T. Ya., Kutyavina T. I., Domnina E. A. *Izuchenie protsessov evτροφikatsii prirodnykh i iskusstvenno sozdannykh vodoemov (literaturnyi obzor)* [Study of eutrophication processes in natural and artificially created water bodies (literature review)] // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya.*— 2014.— № 3.— P. 6–13.
6. Bogdanov N. I. *Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov* [Biological rehabilitation of water bodies] / N. I. Bogdanov.— 3rd ed., suppl. and rev.— Penza: RIO PGSKHA, 2008.— 126 p.
7. Chen S., Xie Q., Fu M., Jiang T., Wang Y.—M., Wang D.—Y. Phytoplankton community structure and its relationship with environmental factors in typical tributary reservoirs of the Three Gorges Reservoir // *Huan Jing Ke Xue.*— 2021.— Vol. 42, no. 5.— P. 2303–2312.
8. Shil'krot G. S. *Prichiny antropogennogo evτροφirovaniya vodoemov* [Causes of anthropogenic eutrophication of water bodies] // *Obshchaya ekologiya. Biotsenologiya. Gidrobiologiya.*— Moscow, 1975.— Vol. 2.— P. 61–99.
9. Nkurunziza R. M., G. A. A. Rehabilitation of surface water of the Savvinky pond (Moscow) using algolization method with *Chlorella kessleri* BPKM A1-11 ARM // *Journal of Materials and*

Environmental Science.— 2024.— Vol. 15, no. 10.— P. 1456.
10. Lukhtanov V. T., Kul'nev V. V. *Biologicheskaya reabilitatsiya vodoemov posredstvom strukturnoi perestroiki fitoplanktonnogo soobshchestva* [Biological rehabilitation of water bodies through structural restructuring of phytoplankton community] // *Trudy Geograficheskogo obshchestva Respubliki Dagestan.*— 2013.— № 41.— P. 140–143.
11. Kulnev V. V., Pochechun V. A. *Primenenie algolizatsii pit'evykh vodoemov Nizhnetagil'skogo promyshlennogo uzla* [Application of algolization of drinking water bodies of the Nizhny Tagil industrial hub] // *Medsina truda i promyshlennaya ekologiya.*— 2016.— № 1.— P. 20–22.
12. Mamanazarova K. S. Seasonal development of algae indicators of saprobity in lower reaches of the Zeravshan River (Republic of Uzbekistan) // *International Journal on Algae.*— 2014.— Vol. 16, no. 2.
13. Tekebayeva Z., Rakhymzhan Z., Bazarkhankyz A., Temirbekova A., Beisenova R., Kulagin A. Experience of algolization of Lake Maibalyk (Astana, Kazakhstan) // *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.*— 2025.— P. 29–42.
14. Melihov V., Frolova M., Medvedeva L. Development of biomelioration of fresh water bodies on the basis of environmental technology—algolization // *Melioration and Water Management.*— 2021.— P. 13–19.
15. Sboichakov V., Kulev D., Reshetnikova O., Osipova T., Kovaleva L. Features of the bioecological state of water bodies in the Leningrad region and de-eutrophication measures // *E3S Web of Conferences.*— 2021.
16. Bogdanov N. I., Paramonov V. K. *Rol' rastitel'noyadnykh ryb v biologicheskoi melioratsii Penzenskogo vodokhranilishcha* [Role of herbivorous fish in biological melioration of the Penza reservoir] // *Khimicheskoe zagryaznenie sredy obitaniya i problemy ekologicheskoi reabilitatsii narushennykh ekosistem: sb. materialov nauch.—prakt. konf.*— Penza, 2003.— P. 21–22.
17. *Reshenie XI s'ezda Gidrobiologicheskogo obshchestva pri Rossiiskoi akademii nauk* [Decision

of the XI Congress of the Hydrobiological Society at the Russian Academy of Sciences], Krasnoyarsk, September 22–26, 2014.—Krasnoyarsk, 2014.

18. Dong J. [et al.]. Effects of toxic cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* on the morphology of green alga *Chlorella vulgaris* // *Annales de Limnologie*—International Journal of Limnology.—2019.—Vol. 55.—P. 7.

19. Žak A., Kosakowska A. Allelopathic influence of cyanobacteria *Microcystis aeruginosa* on green algae *Chlorella vulgaris* // *Insights on Environmental Changes: Where the World Is Heading*.—2014.—P. 141–150.

20. Leão P. N., Vasconcelos M. T. S. D., Vasconcelos V. M. Allelopathic activity of cyanobacteria on green microalgae at low cell densities // *European Journal of Phycology*.—2009.—Vol. 44, no. 3.—P. 347–355.

21. Figueiredo D. R. [et al.]. *Aphanizomenon flos-aquae* grown under different nutrient concentrations and the effects of its exudates on growth of two green algae.—2004.

22. Žak A., Musiewicz K., Kosakowska A. Allelopathic activity of the Baltic cyanobacteria against microalgae // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*.—2012.—Vol. 112.—P. 4–10.

23. Śliwińska S., Latała A. Allelopathic effects of the cyanobacteria *Nodularia spumigena* on green algae *Chlorella vulgaris* and *Oocystis submarina*.—2011.

24. Patent RU2585523 C1. Planktonnyi shtamm *Chlorella kessleri* dlya predotvrashcheniya «tsveteniya» vodoemov sinezelenymi vodoroslyami [Planktonic strain *Chlorella kessleri* for preventing «blooming» of water bodies by blue-green algae] / applicant: Bogdanov N. I.—Publ. 27.05.2016.—Bull. № 15.

25. GOST R59977–2022. Biologicheskaya bezopasnost'. Obezvrezhivanie i utilizatsiya biologicheskikh i organicheskikh materialov [Biological safety. Neutralization and disposal of biological and organic materials].—Moscow, 2022.—12 p.

26. ООО NPO «Al'gobiotekhnologiya». Otchet po munitsipal'nomu kontraktu № 265 na vypolnenie rabot po biologicheskoi reabilitatsii vodoemov, raspolozhennykh na territorii gorodskogo okruga Balashikha, ot 27.05.2016 goda [Report on municipal contract № 265 for biological rehabilitation of water bodies located on the territory of Balashikha urban district, dated 27.05.2016]: research report.—Voronezh, 2016.—111 p.

27. ООО NPO «Al'gobiotekhnologiya». Otchet po munitsipal'nomu kontraktu № 0118300006916000074–0219873–02 po

provedeniyu biologicheskoi reabilitatsii ozera Kopytko metodom korrektsii al'gotsenoza v 2016 godu [Report on municipal contract № 0118300006916000074–0219873–02 on biological rehabilitation of Lake Kopytko by algocenosis correction method in 2016]: research report.—Voronezh, 2016.—72 p.

28. ООО NPO «Al'gobiotekhnologiya». Otchet po dopolnitel'nomu soglasheniyu № 10022313 ot 01.09.2020 k dogovoru № 10022313 ot 01.08.2020 «Biologicheskaya reabilitatsiya Balandinskogo pruda—vodoema-priemnika stochnykh vod AO «Chelyabinskii metallurgicheskii kombinat» metodom korrektsii al'gotsenoza v 2020 godu» [Report on additional agreement № 10022313 dated 01.09.2020 to contract № 10022313 dated 01.08.2020 «Biological rehabilitation of Balandinsky pond—wastewater receiving reservoir of JSC «Chelyabinsk Metallurgical Plant» by algocenosis correction method in 2020]: research report.—Voronezh, 2020.—75 p.

29. ООО NPO «Al'gobiotekhnologiya». Otchet po munitsipal'nomu kontraktu № 08483000641190000740001 ot 30.04.2019 goda «Vypolnenie rabot po biologicheskoi reabilitatsii vodoemov, raspolozhennykh na territorii gorodskogo okruga Balashikha» [Report on municipal contract № 08483000641190000740001 dated 30.04.2019 «Performance of biological rehabilitation work on water bodies located on the territory of Balashikha urban district]: research report.—Novovoronezh, 2019.—117 p.

30. ООО NPO «Al'gobiotekhnologiya». Otchet po munitsipal'nomu kontraktu № 0118300006918000038–0219873–01 ot 13.06.2018 na okazanie uslug dlya munitsipal'nykh nuzhd munitsipal'nogo obrazovaniya Ust'-Labinskoe gorodskoe poselenie v sostave munitsipal'nogo obrazovaniya Ust'-Labinskii raion [Report on municipal contract № 0118300006918000038–0219873–01 dated 13.06.2018 for providing services for municipal needs of Ust-Labinskoye urban settlement within Ust-Labinsky district]: research report.—Novovoronezh, 2018.—44 p.

31. Shalanda I. A. Vodorosli — osnovnye indikatory ekologicheskogo sostoyaniya reki [Algae — main indicators of river ecological state] // *Sbornik materialov respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Parameya Vladimira Trofovicha, Grodno, April 29–30, 2021*.—Grodno: Grodnenskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet, 2021.—P. 518–519.

32. R u k o v o d s t v o p o m e t o d a m gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Manual on methods of

hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments] / ed. V. A. Abakumov. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. — 239 p.

33. Makarova I. V., Pikchily L. O. K nekotorym voprosam metodiki vychisleniya biomassy fitoplanktona [On some issues of phytoplankton biomass calculation methodology] // Botanicheskii zhurnal. — 1970. — Vol. 55, № 10. — P. 1488–1494.

34. Politaeva N. A., Masalova M. A. Primenenie metoda algolizatsii dlya snizheniya soderzhaniya tsianobakterii [Application of algolization method to reduce cyanobacteria content] // Ekologicheskii monitoring opasnykh promyshlennykh ob»ektov: sovremennye dostizheniya, perspektivy i obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti naseleniya: sb. nauch. trudov (VI Vseros. nauch. — prakt. konf. v ramkakh VI Vseros. nauch. — obshch. foruma «Ekologicheskii

forsait»)), Saratov, October 30–31, 2024. — Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. Gagarina Yu. A., 2024. — P. 141–145.

35. Trifonova I. S. Ekologiya i suktsessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. — Leningrad: Nauka, 1990. — 184 p.

36. Jeffrey S. W., Humphrey G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanz. — 1975. — Vol. 167. — P. 191–194.

37. Korneva L. G. Fitoplankton vodokhranilishch basseina Volgi [Phytoplankton of the Volga basin reservoirs] / L. G. Korneva. — Kostroma: Filigran', 2015. — 284 p.

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Масалова Мария Александровна младший научный сотрудник Санкт-Петербургского научного центра РАН Адрес: ФГБУН «Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук», 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 5 AuthorID: 1289735 E-mail: mer.masalova@gmail.com	Masalova Maria Aleksandrovna Junior Research Associate, St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Address: St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 199034, St. Petersburg, Universitetskaya Embankment, 5 AuthorID: 1289735 E-mail: mer.masalova@gmail.com
Поздняков Шамиль Рауфович доктор географических наук, директор Института исследований континентальных водных объектов Российского государственного гидрометеорологического университета Адрес: ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», 192007, г. Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79 ORCID: 0000–0003–3307–7533 E-mail: tbgmaster@mail.ru	Pozdnyakov Shamil Raufovich Doctor of Geographical Sciences, Director of the Institute for Continental Water Bodies Research, Russian State Hydrometeorological University Address: Russian State Hydrometeorological University, 19200779, St. Petersburg, Voronezhskaya Street, 79 ORCID: 0000–0003–3307–7533 E-mail: tbgmaster@mail.ru
Политаева Наталья Анатольевна доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Адрес: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29 ORCID: 0000–0002–5914–6210 E-mail: politaevana1971@gmail.com	Politaeva Nataliya Anatolyevna Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the School of Hydraulic and Power Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Address: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya Street, 29 ORCID: 0000–0002–5914–6210 E-mail: politaevana1971@gmail.com

УДК 624.1, 502.17, 656.13

ОБОСНОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ПАРКОВОК В МОСКВЕ: ПОТЕНЦИАЛ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И КОМПРОМИССЫ

В. А. Пашинин**А. В. Федорков***ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)*

Аннотация. Москва как высокоурбанизированный мегаполис сталкивается с проблемой дефицита парковок и экологическими рисками. В последние годы политика смещается в сторону ограничения строительства подземных паркингов. Цели исследования — комплексная оценка экологической эффективности подобных запретов и выявление сопутствующих компромиссов. Методология включала анализ данных экологического мониторинга (Мосэкомониторинг), отчетов надзорных органов (Роспотребнадзор), моделирования рассеивания загрязнений (AERMOD), оценки статистики транспортного поведения (ЦОДД) и обзора научной литературы. Результаты показали, что запрет потенциально снижает риски загрязнения грунтовых вод (до 2,5 ПДК нефтепродуктов) и почвы, а также энергопотребление (58–72 т CO₂/год на 1 000 м²). Однако выявлены значительные риски: рост уличных выбросов (на 15–20% в центре), увеличение шумового загрязнения (до 65 дБ) в жилых зонах из-за стихийных стоянок и потеря потенциала для создания наземных зеленых зон. Обсуждение подчеркивает, что экологическая эффективность запрета критически зависит от локации (выше в центре), развития альтернативной инфраструктуры (общественный транспорт, каршеринг) и внедрения технологий очистки на наземных стоянках. Вывод: запрет может быть эффективным инструментом в составе комплексной политики, но требует дифференцированного подхода по районам, инвестиций в альтернативы и компенсирующих мер для минимизации негативных последствий.

Ключевые слова: подземные парковки, строительство, экологические риски, загрязнение грунтовых вод, энергопотребление, транспортная политика, Москва, шумовое загрязнение, устойчивое развитие, парковочная инфраструктура.

UDC 624.1, 502.17, 656.13

JUSTIFICATION OF RESTRICTIONS ON UNDERGROUND PARKING CONSTRUCTION IN MOSCOW: POTENTIAL, ENVIRONMENTAL RISKS AND TRADE-OFFS

V. A. Pashinin**A. V. Fedorkov***Russian University of Transport (RUT MIIT)*

Abstract. Moscow, as a highly urbanized metropolis, faces parking deficits and environmental challenges. Recent policy trends favor restricting underground parking construction. This study provides a comprehensive assessment of the environmental effectiveness of such restrictions and identifies associated trade-offs. The methodology encompassed environmental monitoring data analysis (Mosekomonitoring), regulatory authority reports (Rospotrebnadzor), pollution dispersion modeling (AERMOD), transportation behavior statistics evaluation (Moscow Traffic Management Center), and literature review. Results indicate that restrictions potentially reduce groundwater contamination risks (up to 2.5 times the maximum permissible concentration of petroleum products) and soil pollution, while decreasing energy consumption (58–72 t CO₂/year per 1 000 m²). However, significant risks emerge: elevated street-level emissions (15–20% increase in

downtown areas), heightened noise pollution (up to 65 dB) in residential zones due to informal parking, and reduced opportunities for surface green space development. The analysis demonstrates that environmental effectiveness depends critically on location (greater in central areas), alternative infrastructure development (public transit, car-sharing systems) and implementation of treatment technologies at surface parking facilities. The restriction serves as an effective policy instrument within comprehensive urban planning frameworks, though it necessitates area-specific approaches, investment in transportation alternatives, and mitigation measures to address adverse impacts.

Keywords: underground parking, construction, environmental risks, groundwater contamination, energy consumption, transportation policy, Moscow, noise pollution, sustainable development, parking infrastructure.

Введение

Москва как мегаполис с экстремально высокой плотностью населения и застройки сталкивается с комплексом взаимосвязанных экологических и инфраструктурных вызовов. Одним из ключевых аспектов устойчивого развития города является регулирование транспортной системы, где организация парковочных пространств играет критическую роль. Исторически строительство подземных паркингов рассматривалось как основное решение проблемы дефицита парковок. Однако в последние годы акцент городской политики сместился в сторону ограничения таких проектов главным

образом из-за растущих опасений относительно потенциальных экологических рисков, таких как загрязнение грунтовых вод, просадки грунта и энергоёмкость эксплуатации [1, 2].

Цели данного исследования — провести комплексный анализ и оценить, в какой мере политика ограничения или запрета строительства подземных парковок в Москве способствует достижению декларируемых экологических целей города, а также выявить и количественно оценить неизбежные экологические, социальные и инфраструктурные компромиссы, связанные с такой политикой.

Методы

Исследование базировалось на междисциплинарном подходе, включающем следующие методы:

Анализ данных экологического мониторинга. Использованы открытые данные Мосэкомониторинга (2020–2023 гг.) по концентрациям CO₂, NO_x в атмосферном воздухе вблизи подземных и наземных парковок [3].

Анализ отчетов надзорных органов. Изучены сводные отчеты Роспотребнадзора (2021–2023 гг.) о нарушениях при строительстве и эксплуатации парковок, в частности по гидроизоляции и загрязнению почв [4].

Моделирование рассеивания загрязняющих веществ. Применена модель AERMOD (US EPA) для прогнозирования изменения концентраций уличных выбросов CO₂, NO_x в условиях сокращения подземных парковок и роста наземных на примере Тверского района [5, 6].

Результаты

Данные Мосэкомониторинга (2023 г.) показали, что подземные парковки вносят вклад в формирование до 30% повышенных фоновых концентраций CO₂ в прилегающих жилых зонах [3]. Проверки выявили превышение ПДК по NO_x (50 мг/м³) в 23% обследованных подземных парковок, несмотря на требования к воздухообмену (4–6 крат/час), регламентированные

Анализ статистики транспортного поведения. Использованы агрегированные данные Центра организации дорожного движения (ЦОДД) Москвы (2013–2023 гг.) об использовании личного транспорта, общественного транспорта, каршеринга и динамике платных парковок [7].

Оценка энергопотребления и углеродного следа. Рассчитаны удельные показатели энергопотребления подземных парковок на основе данных Мосгосэкспертизы и проектной документации, оценены выбросы CO₂ в зависимости от источника энергии [8, 9].

Систематический обзор научной литературы. Проведен анализ российских и международных исследований в базах РИНЦ и Scopus по темам: экологические риски подземного строительства, транспортная политика, влияние парковочных стратегий на качество городской среды [1, 2, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

СанПиН 2.1.2.2645–10 [4]. Моделирование (AERMOD) для сценария запрета подземных парковок в Тверском районе прогнозирует снижение риска накопления загрязнений в замкнутых пространствах, но одновременный рост уличных выбросов CO₂ и NO_x на 15–20% из-за перераспределения автомобилей на наземные стоянки [5, 6].

Анализ отчетов Роспотребнадзора (2021–2023 гг.) показал, что в 17% случаев строительства подземных парковок были выявлены нарушения гидроизоляции [4]. Это привело к локальному загрязнению грунтовых вод нефтепродуктами — до 2,5 ПДК, тяжелыми металлами (свинец, цинк) — до 1,8 ПДК [4, 16]. Запрет на новое строительство минимизирует эти риски в будущем, но требует дополнительных инвестиций в рекультивацию уже загрязненных участков.

В части энергопотребления и выбросов CO₂ удельное энергопотребление систем вентиляции и освещения подземных парковок составляет 120–150 тыс. кВт·ч/год на 1 000 м² [8]. При использовании электроэнергии от традиционных источников это генерирует 58–72 тонн CO₂

Обсуждение

Результаты исследования демонстрируют, что политика ограничения строительства подземных парковок в Москве обладает значительным, но неоднозначным экологическим потенциалом. Наиболее убедительные аргументы в пользу ограничений связаны со снижением рисков для геологической и гидрологической среды (просадки, загрязнение грунтовых вод и почв), что особенно актуально в условиях сложных грунтов Москвы [1, 16]. Сокращение энергопотребления на эксплуатацию вентиляционных систем также вносит вклад в снижение углеродного следа городской инфраструктуры [8, 9]. Потенциал сокращения использования личного транспорта в центре города за счет перехода на альтернативы согласуется с глобальными трендами устойчивой мобильности [12, 13]. Ключевой экологический компромисс — перераспределение загрязнения воздуха из подземных пространств на уровень улиц [5, 6]. Рост наземных и стихийных парковок ведет к потере ценных городских территорий, которые могли бы быть использованы под озеленение, и повышению шумового фона в жилых зонах [17]. Социальным компромиссом является потенциальное усиление транспортного неравенства, если запрет не сопровождается адекватным развитием доступного и качественного общественного транспорта, особенно в периферийных районах [14].

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы. Запрет или ограничение строительства подземных парковок в Москве обладает значительным экологическим потенциалом, прежде всего в сфере защиты грунтовых вод и почв от загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами, а также в снижении энергопотребле-

ежегодно на объект такого размера [9]. Теоретический переход на ВИЭ способен снизить углеродный след лишь на 40%, но не компенсирует его полностью.

При этом изменение транспортного поведения в зависимости от вводимых инициатив будет вносить свои результаты. Ограничение доступности парковочных мест в центре города на 20–30% (аналогично эффекту от введения платных парковок в 2013–2023 гг.) может привести к сокращению использования личного транспорта на 15% [7, 12], а в спальных районах высока вероятность роста стихийных парковок во дворах, что, по оценкам, повысит уровень шума до 65 дБ (при санитарной норме 55 дБ по СН 2.2.4/2.1.8.562–96) и ухудшит качество среды [17].

В итоге экологическая эффективность запрета крайне неоднородна в пространстве города. Риски загрязнения воздуха и ценность освобождаемых территорий максимальны в плотно застроенном центре, например в Пресненском районе, тогда как в районах Новой Москвы с иной гидрогеологией и меньшей плотностью риски могут быть ниже [1, 18]. Успех политики инфраструктурных альтернатив критически зависит от параллельного развития сети общественного транспорта, каршеринга, велоинфраструктуры и систем управления парковочным спросом (резидентные разрешения, дифференцированные тарифы) [12, 14, 19]. Внедрение систем очистки воздуха, например на основе фотохимических катализаторов, на многоуровневых наземных парковках может снизить их негативное воздействие на 25–30% [15, 20].

Иностранный опыт мегаполисов, внедряющих жесткие ограничения на парковку, например Сингапура с акцентом на высокотехнологичные многоуровневые решения и квотирование владения авто [15], или европейских городов с расширением пешеходных зон, показывает, что эффективность достигается только при наличии синергии с развитием альтернатив и финансовыми механизмами управления спросом [13, 19].

Развития городской инфраструктуры. Реализация этой политики сопряжена с существенными экологическими и социальными компромиссами: риском роста уличного загрязнения воздуха и шума, потерей возможностей для создания наземных зеленых зон и потенциальным усилением транспортного неравенства.

Чистый экологический эффект запрета не является универсально положительным и сильно варьируется в зависимости от конкретной локации (центральные vs периферийные районы). Максимизация положительного и минимизация отрицательного экологического воздействия такой политики возможна только при ее интеграции в комплексную стратегию устойчивой городской мобильности. Это включает:

- дифференцированный (зональный) подход к ограничениям, основанный на оценке экологической уязвимости территории;
- ускоренное развитие альтернатив личному автомобилю (общественный транспорт, каршеринг, велоинфраструктура);
- внедрение эффективных механизмов управле-

- ния парковочным спросом (резидентные парковки, прогрессивные тарифы);
- обязательное использование технологий снижения выбросов на наземных и многоуровневых парковках;
- инвестиции в рекультивацию уже загрязненных участков от существующих парковок.

Таким образом, ограничение возведения подземных парковок может рассматриваться как один из инструментов экологической политики Москвы, но его применение требует тщательного обоснования, адаптации к локальным условиям и обязательного сопровождения пакетом компенсирующих инфраструктурных и управленческих мер.

Список литературы

1. Иванов А. А., Петрова С. И., Сидоров В. К. Геологические риски урбанизированных территорий на примере Москвы // Инженерная геология. — 2020. — № 4. — С. 45–58.
2. Smith J. Urban Parking Policies and CO₂ Emissions: Lessons from Global Megacities // Journal of Environmental Planning and Management. — 2021. Vol. 45. No. 3. — pp. 321–339. DOI: 10.1080/09640568.2021.1234567.
3. Государственное природоохранное бюджетное учреждение «Мосэкомониторинг». Доклад о состоянии атмосферного воздуха в городе Москве за 2023 год. — М., — 2024. — 120 с.
4. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по г. Москве (Роспотребнадзор). Сводный отчет о результатах надзора за объектами транспортной инфраструктуры (парковки) за период 2021–2023 гг. — М. — 2023. — 85 с.
5. EPA (Environmental Protection Agency). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-20-XXX. 2020.
6. Клименко А. П., Новикова Е. Д. Моделирование рассеивания выхлопных газов автотранспорта при изменении структуры парковочного пространства (на примере Тверского района Москвы) // Экология урбанизированных территорий. — 2023. — № 1. — С. 22–35.
7. Государственное казенное учреждение города Москвы «Центр организации дорожного движения Правительства Москвы» (ЦОДД). Статистический сборник «Транспортное поведение населения Москвы 2013–2023». — М., 2024. — 150 с.
8. Департамент экспертизы проектов строительства города Москвы («Мосгосэкспертиза»). Рекомендации по расчету энергопотребления объектов транспортной инфраструктуры. — М. — 2022. — 65 с.
9. Miller S., Khan S. Assessing the Carbon Footprint of Urban Parking Facilities: A Comparative Study // Sustainable Cities and Society. — 2022. — Vol. 87. — p. 104298. DOI: 10.1016/j.scs.2022.104298.
10. Кузнецов Е. Л. Влияние парковочной политики на экологическую ситуацию в крупных городах // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2022. — № 3. — С. 67–78.
11. Shoup D. C. The High Cost of Free Parking. Chicago: APA Planners Press, 2011. — 733 p.
12. Litman T. Parking Management: Strategies, Evaluation and Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2023. URL: https://www.vtpi.org/park_man.pdf (дата обращения: 07.08.2025).
13. Marsden G. The evidence base for parking policies — a review // Transport Policy. — 2006. — Vol. 13. No. 6. — pp. 447–457. DOI: 10.1016/j.tranpol.2006.05.011.
14. Семенов В. Ю., Фролова О. А. Социально-экологические аспекты парковочной политики в мегаполисе (на примере Москвы) // Городские исследования и практики. — 2023. — Т. 8. — № 2. — С. 45–60.
15. Tan W. G. Z., Wang Y. High-Rise, High-Density Parking Solutions: Singapore's Approach and its Environmental Implications // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2020. Vol. 87. P. 102528. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102528.
16. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Состояние подземных вод на террито-

рии Москвы и Московской области. Обзорный доклад. — М. — 2019. — 98 с.

17. Белова И. М. Шумовое загрязнение городской среды: источники, последствия, методы снижения // Акустический вестник. 2022. — Т. 25. — № 1. — С. 34–48.

18. Зонирование территории Москвы по экологической чувствительности к техногенным воздействиям / Под ред. К. Н. Дьяконова. М.: Научный мир, 2021. — 210 с.

References

1. Ivanov A. A., Petrova S. I., Sidorov V. K. Geologicheskie riski urbanizirovannykh territorii na primere Moskvy [Geological risks of urbanized territories: Moscow case study]. — Inzhenernaya geologiya [Engineering Geology]. — 2020. — № 4. — С. 45–58.

2. Smith J. Urban Parking Policies and CO₂ Emissions: Lessons from Global Megacities. — Journal of Environmental Planning and Management. — 2021. — Vol. 45, no. 3. — P. 321–339. — DOI:10.1080/09640568.2021.1234567.

3. Gosudarstvennoe prirodookhrannoe byudzhethnoe uchrezhdenie «Mosekomonitoring». Doklad o sostoyanii atmosfernogo vozdukha v gorode Moskve za 2023 god [State Environmental Budget Institution "Mosekomonitoring". Report on the state of atmospheric air in Moscow for 2023]. — Moscow, 2024. — 120 p.

4. Upravlenie Federal'noi sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitel'ei i blagopoluchiya cheloveka po g. Moskve (Rospotrebnadzor). Svodnyi otchet o rezul'tatakh nadzora za ob"ektami transportnoi infrastruktury (parkovki) za period 2021–2023 gg. [Moscow Office of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (Rospotrebnadzor). Consolidated report on the results of supervision of transport infrastructure facilities (parking) for the period 2021–2023]. — Moscow, 2023. — 85 p.

5. EPA (Environmental Protection Agency). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). — EPA-454/B-20-XXX. — 2020.

6. Klimenko A. P., Novikova E. D. Modelirovanie rasseivaniya vykhlopnykh gazov avtotransporta pri izmenenii struktury parkovoch-

19. Weinberger R., Millard-Ball A., Hampshire R. Parking in the City: Challenges for a New Agenda // Transport Reviews. — 2020. — Vol. 40. No. 3. — pp. 279–284. DOI: 10.1080/01441647.2020.1732442.

20. Chen J., Mo H., Chen Y. Photocatalytic Oxidation Technology for Air Pollutants Control in Underground Parking Garages: A Review // Building and Environment. — 2021. — Vol. 205. P. 108255. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108255.

nogo prostranstva (na primere Tverskogo raiona Moskvy) [Modeling the dispersion of vehicle exhaust gases when changing the structure of parking space (case study of Tver district of Moscow)]. — Ekologiya urbanizirovannykh territorii [Ecology of Urbanized Areas]. — 2023. — № 1. — С. 22–35.

7. Gosudarstvennoe kazennoe uchrezhdenie goroda Moskvy «Tsentr organizatsii dorozhnogo dvizheniya Pravitel'stva Moskvy» (TsODD). Statisticheskii sbornik «Transportnoe povedenie naseleniya Moskvy 2013–2023» [State Public Institution of Moscow "Moscow Government Traffic Management Center" (TSDD). Statistical collection "Transport behavior of Moscow population 2013–2023"]. — Moscow, 2024. — 150 p.

8. Departament ekspertizy proektov stroitel'stva goroda Moskvy («Mosgosexpertiza»). Rekomendatsii po raschetu energopotrebleniya ob"ektov transportnoi infrastruktury [Moscow Department of Construction Project Expertise ("Mosgosexpertise"). Recommendations for calculating energy consumption of transport infrastructure facilities]. — Moscow, 2022. — 65 p.

9. Miller S., Khan S. Assessing the Carbon Footprint of Urban Parking Facilities: A Comparative Study. — Sustainable Cities and Society. — 2022. — Vol. 87. — Art. 104298. — DOI:10.1016/j.scs.2022.104298.

10. Kuznetsov E. L. Vliyanie parkovochnoi politiki na ekologicheskuyu situatsiyu v krupnykh gorodakh [Impact of parking policy on the environmental situation in large cities]. — Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya [Moscow University Bulletin. Series 5: Geography]. — 2022. — № 3. — С. 67–78.

11. Shoup D. C. The High Cost of Free Parking. – Chicago: APA Planners Press, 2011. — 733 p.

12. Litman T. Parking Management: Strategies, Evaluation and Planning. – Victoria Transport Policy Institute, 2023. – Available at: <https://www.vtpi.org/park-man.pdf> (accessed: 07.08.2025).

13. Marsden G. The evidence base for parking policies—a review. – Transport Policy. – 2006. – Vol. 13, no. 6. – P. 447–457. – DOI:10.1016/j.tranpol.2006.05.011.

14. Semenov V. Yu., Frolova O. A. Sotsial'no-ekologicheskie aspekty parkovochnoi politiki v megapolise (na primere Moskvy) [Social and environmental aspects of parking policy in megacity (Moscow case study)]. – Gorodskie issledovaniya i praktiki [Urban Studies and Practices]. – 2023. – Vol. 8, no. 2. – P. 45–60.

15. Tan W. G. Z., Wang Y. High-Rise, High-Density Parking Solutions: Singapore's Approach and its Environmental Implications. – Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2020. – Vol. 87. – Art. 102528. – DOI:10.1016/j.trd.2020.102528.

16. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy (Rosgidromet). Sostoyanie podzemnykh vod na territorii

Moskvy i Moskovskoi oblasti. Obzornyi doklad [Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). State of groundwater in Moscow and Moscow Region. Overview report]. – Moscow, 2019. — 98 p.

17. Belova I. M. Shumovoe zagryaznenie gorodskoi sredy: istochniki, posledstviya, metody snizheniya [Noise pollution of urban environment: sources, consequences, reduction methods]. – Akusticheskii vestnik [Acoustic Bulletin]. – 2022. – Vol. 25, no. 1. – P. 34–48.

18. Zonirovanie territorii Moskvy po ekologicheskoi chuvstvitel'nosti k tekhnogennym vozdeistviyam [Zoning of Moscow territory by environmental sensitivity to anthropogenic impacts] / Pod red. K. N. D'yakonova. – Moscow: Nauchnyi mir, 2021. – 210 p.

19. Weinberger R., Millard-Ball A., Hampshire R. Parking in the City: Challenges for a New Agenda. – Transport Reviews. – 2020. – Vol. 40, no. 3. – P. 279–284. – DOI:10.1080/01441647.2020.1732442.

20. Chen J., Mo H., Chen Y. Photocatalytic Oxidation Technology for Air Pollutants Control in Underground Parking Garages: A Review. – Building and Environment. – 2021. – Vol. 205. – Art. 108255. – DOI:10.1016/j.buildenv.2021.108255.

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Пашинин Валерий Алексеевич доктор технических наук, профессор кафедры химии и инженерной экологии РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 3 ORCID: 0000-0002-7709-8654 E-mail: Pashininmiit@yandex.ru	Pashinin Valery Alekseevich Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Chemistry and Environmental Engineering, RUT (MIIT) Address: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport», 127055, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 3 ORCID: 0000-0002-7709-8654 E-mail: Pashininmiit@yandex.ru
Федорков Александр Владимирович аспирант кафедры химии и инженерной экологии РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 3 ORCID: 0009-0008-9425-6213 E-mail: sp179f@yandex.ru	Fedorkov Aleksandr Vladimirovich PhD Student, Department of Chemistry and Environmental Engineering, RUT (MIIT) Address: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of Transport», 127055, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 3 ORCID: 0009-0008-9425-6213 E-mail: sp179f@yandex.ru

УДК 625.7

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЛИНЕЙНО-ВЫТЯНУТОЙ ГОРОДСКОЙ СТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА)

Т. В. Золина*ГБОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет»***С. С. Рекунов***ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»*

Аннотация. Использование графоаналитического подхода в оценке транспортного планирования дает возможность анализировать информацию, собранную в процессе разработки и прогнозирования развития городов, а также при определении наилучшего расположения объектов городской инфраструктуры. В качестве примера рассмотрен Волгоград, где реализована всесторонняя система графоаналитического контроля транспортно-планировочных решений. Благодаря оптимизации дорожной сети она способствует снижению загруженности дорог, более рациональному расходованию средств городского бюджета за счет обоснованных решений, а также повышает качество жизни населения благодаря удобной транспортной системе и уменьшению экологического ущерба, выражаемого в сокращении заторов и вредных выбросов.

Ключевые слова: транспортное планирование, градостроительное планирование, графоаналитическое моделирование, компактность застройки, линейно-вытянутая структура, Волгоград.

UDC 625.7

GRAPH-ANALYTICAL MODELING AND EFFICIENCY ASSESSMENT OF TRANSPORT AND PLANNING SOLUTIONS IN LINEAR URBAN STRUCTURE CONDITIONS (CASE STUDY OF VOLGOGRAD)

T. V. Zolina*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering***S. S. Rekunov***Volgograd State Technical University*

Abstract. Graph-analytical approaches in transport planning assessment facilitate comprehensive analysis of data collected during urban development and forecasting processes, while optimizing infrastructure facility placement. Volgograd exemplifies successful implementation of integrated graph-analytical control systems for transport and planning solutions. Road network optimization through this methodology reduces traffic congestion, enables efficient municipal budget allocation via evidence-based decision-making, and improves residents' quality of life through enhanced transportation accessibility and environmental benefits from reduced traffic bottlenecks and lower emission levels.

Keywords: transport planning, urban planning, graph-analytical modeling, development compactness, linear extended structure, Volgograd.

Введение

Поиск и усовершенствование подходов к размещению транспортных узлов и элементов транспортной инфраструктуры (наземных и подземных) с обязательным соблюдением норм безопасности в технических, экологических и социальных аспектах представляют собой значимую научную проблему. Оценка соответствия генерального плана населенного пункта транспортным нуждам осуществляется на основе методики, предложенной А. М. Якшиным [1], а также в соответствии с нормами проектирования, закрепленными в Гражданском кодексе РФ и СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». Современный цифровой инструмент — объединенная модель графоаналитического мониторинга — позволяет оптимизировать транспортную инфраструктуру и городское планирование [2–4].

Этот метод позволяет:

- проводить комплексный анализ транспортных потоков, собирая информацию о движении и выявляя проблемные зоны и перегруженные участки;
- оптимизировать маршруты;
- улучшать городскую планировку путем моделирования воздействия новых объектов застройки, дорог и инфраструктурных проектов на транспортную систему;
- повышать эффективность работы общественного транспорта;
- осуществлять прогнозирование и сценарное моделирование;
- интегрировать данные из различных источников [5–7]. В ходе исследования планируется анализ градостроительной структуры и транспортной инфраструктуры Волгограда с использованием графоанализа, особенно в контексте развития новых высотных и многоэтажных жилых районов.

Методы

Изложим методологические аспекты оценки. Временная оценка связи объединенной модели графоаналитического мониторинга за транспортно-планировочным решением имеет сложную структуру и состоит по меньшей мере из следующих элементов:

$$T = t_{(п+о) \text{ лин}} + t_{(п+о) \text{ ост}} + t_{ож} + t_{пер} + t_{поезд} = t_{накл} + t_{поезд} \quad (1)$$

где

$t_{(п+о)}$ — время подхода к линии (лин) или остановке (ост) плюс время отхода от них,

$t_{ож}$ — время ожидания транспорта,

$t_{пер}$ — время на пересадку с маршрута на маршрут,

$t_{поезд}$ — время поездки в средствах транспорта,

$t_{накл}$ — сумма накладных расходов времени.

Представим в виде общей формулы, характеризующей сложность доставки объектов n в заданную точку i в пределах городской черты:

$$\frac{T_i(n)}{\xi_{i(n)} \cdot \pi_{i(n)}} = \frac{10^3 \cdot \theta_{i(n)} \cdot C_{i(n)}}{V_c} = \frac{337 \cdot \theta_{i(n)} \cdot \chi_{i(n)} \cdot \sqrt{S}}{V_c} = \frac{377 \sqrt{S}}{V_c} \cdot \alpha_i \cdot \beta_{i(n)} \cdot \gamma_{i(n)} \cdot \mu_{i(n)} \cdot \nu_{i(n)} \quad (2)$$

Из выражения следует, что величина трудности сообщения любой группы объектов с любым пунктом города зависит:

- а) от размеров освоенной территории S , км²;
- б) от степени компактности планировочного решения, характеризуемого коэффициентом компактности $\cdot \chi_{i(n)} \cdot \chi_{i(n)}$;
- в) от средней скорости сообщения транспортной системы $\bar{V}_c \bar{V}_c$;
- г) от коэффициента накладного времени $\cdot \theta_{i(n)} \cdot \theta_{i(n)}$, величина которого находится в зависимости от качества транспортного (скорость, интервалы движения, маршрутная сеть)

и транспортно-планировочного решения (размещение остановочных пунктов, плотность сети и т. п.).

Влияние данного фактора указывает на то, что при разработке оптимального плана городского развития и его транспортной инфраструктуры важно учитывать не только скорость передвижения и транспортные характеристики, но и степень сжатости планировочного решения. Все градостроительные мероприятия следует строго оценивать по этому показателю, а вопросы организации городских коммуникаций рассматривать как часть планировочного процесса.

Сохранение устойчивости транспортно-планировочной ситуации в городе возможно за счет совершенствования его транспортных сетей. Для поддержания приемлемого уровня транспортной связанности необходимо, чтобы скорость перемещения жителей к ключевому транспортному центру постоянно увеличивалась. Темпы этого роста должны быть достаточными, чтобы минимизировать негативное влияние на транспортную доступность. Однако в действительности это

Результаты и обсуждение

Волгоград — значимый транспортный центр Поволжья, обладающий разветвленной сетью транспортных маршрутов, включающей в себя международные и внутренние железнодорожные, автомобильные, водные и авиационные линии, а также городскую транспортную систему. Благодаря этому Волгоград играет роль одного из важнейших транспортных центров России, обеспечивающих связь в рамках перспективных международных коридоров между Европой и Азией, а также в рамках Транссибирской магистрали.

Территория транспортного и планировочного каркаса Волгограда имеет линейно-вытянутую (меридиональную) форму, обусловленную уникальной географией города. Особенности формы каркаса Волгограда: вытянутость вдоль Волги; многоядерная структура с узлами — точками роста; прерывистость из-за природных барьеров; несимметричность.

Развитие транспортной инфраструктуры Волгограда стимулирует экономическое процветание области и обеспечивает более тесное взаимодействие ее районов. Перевозки осуществляются по наиболее прямым маршрутам, что гарантирует небольшие расстояния: $S = 436,41 \text{ км}^2$
 $\Delta_s = 0,377 \cdot \sqrt{S} = 0,377 \cdot \sqrt{436,41} = 7,88 \text{ км}$ (3)
 где S — площадь территории города, км^2 .

Очертания городской черты имеют конкретную конфигурацию для того, чтобы упростить исследование. Допустим, что рассматриваемая локация расположена в самом центре всей площади. Центр масс для двумерной области рассчитывается на основе координат $X_{\text{цт}}$ и $Y_{\text{цт}}$. Городское пространство разделяется на секции с сопоставимой площадью, для каждой из которых вычисляется свой центр тяжести. После этого посредством вычисления статических моментов, координаты $X_{\text{цт}}$ и $Y_{\text{цт}}$ вычисляются по следующим уравнениям:

$$X_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot S_i}{S}$$

не всегда происходит. В крупных городах, начиная с внедрения общественного транспорта, скорость значительно возросла: в 1926 году, когда массовый транспорт только начинал развиваться, средняя скорость передвижения была лишь немного выше пешеходной. К 1970 году она увеличилась в 1,8 раза, но этого оказалось недостаточно, учитывая заметное ухудшение транспортной доступности.

$$Y_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot S_i}{S} \quad (4)$$

Суммированием определяем площадь и статические моменты всей заданной фигуры (рис. 1, 2).

Координаты центра тяжести имеют следующие значения:

$$X_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot S_i}{S} = \frac{20844,17}{436,41} = 47,76 \text{ км} \quad (5)$$

$$Y_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot S_i}{S} = \frac{4546,32}{436,41} = 11,41 \text{ км} \quad (6)$$

Минимальное расстояние от рассматриваемой территории до центра масс объекта рассчитывается по следующей формуле:

$$A_{\text{цт}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot l_{oi}}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (7)$$

где S_i — площадь элемента территории, l_{oi} — воздушное расстояние от центра тяжести территории O до ее отдельного элемента.

$$A_{\text{цт}} = \frac{22814,04}{436,41} = 52,27 \text{ км} \quad (8)$$

Коэффициент формы территории:

$$a_{\text{цт}} = \frac{A_{\text{цт}}}{\Delta S} = \frac{52,27}{7,88} = 6,63 \quad (9)$$

Воздушное расстояние определяет коэффициент непрямолинейности (y), который рассчитывается как отношение среднего расстояния по транспортной сети от всех жителей города до исследуемого центра к среднему расстоянию по прямой. Среднее расстояние по сети вычисляется следующим образом:
 $B_{\text{тр}} = 57825,90/1090 = 53,05 \text{ км}$.

Коэффициент непрямолинейности транспортной сети равен: $y = 53,05/52,27 = 1,02$.

Значение параметра $y < 1,20$, не превышающее 1,20, позволяет утверждать, что транспортная инфраструктура Волгограда спроектирована эффективно.

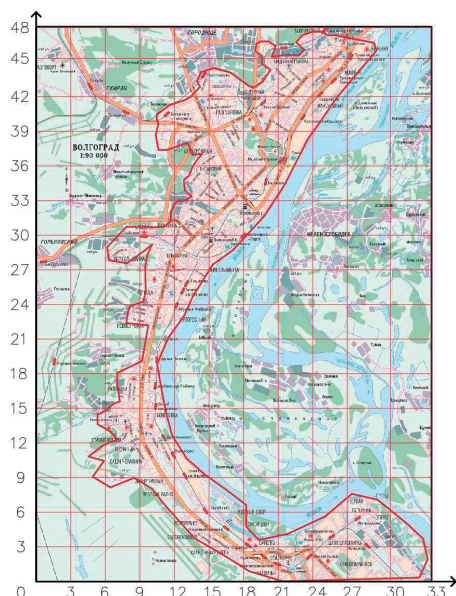


Рис. 1. Модель графоаналитической оценки компактности планирования территории Волгограда. Источник: авторы исследования

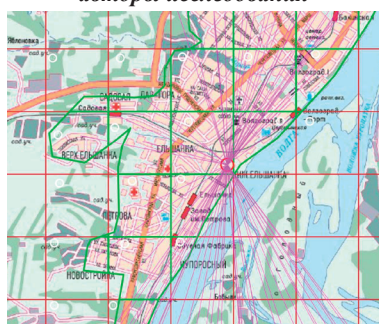


Рис. 2. Фрагмент модели графоаналитической оценки компактности планирования центра Волгограда. Источник: авторы исследования

Анализ генерального плана города с точки зрения потребности в транспорте

Активное строительство многопрофильных жилых районов в Волгограде, концентрирующееся на небольших территориях, влечет за собой не только повышение плотности застройки, но и обогащение центральной части города благодаря объединению разнообразных функций. Возведение высотных зданий, уменьшение промежутков между ними и использование подземных помещений способствуют увеличению интенсивности транспортных потоков. При разработке новых моделей городской структуры используются градостроительные подходы, в том числе методы пространственной организации, которые учитывают взаимное расположение ключевых функциональных зон и основываются на анализе поведения жителей. Площадь города оценивается двумя параметрами: общей величиной застроенной территории и ее соотношением с численностью населения. Относительная площадь (S) на одного жителя составляет:

$$S = \frac{10^6 \cdot 436,41}{1018898} = 428,32$$

Волгоград классифицируется как город I группы по уровню освоенности территорий с характеристикой «очень большая». Существующая градация разделяет освоенные территории городов на пять категорий: от I группы («очень большая») до V группы («очень малая»), включая промежуточные варианты «большая», «умеренная» и «малая» (см. табл. 1).

Таблица 1

Классификация освоенных территорий по группам городов

№ п/п	Группа городов	Характеристика освоения территории	Относительная величина освоенной территории, S , м ² на жителя
1	2	3	4
1	I	Очень большая	Более 400
2	II	Большая	400-200
3	III	Умеренная	200-100
4	IV	Малая	100-50
5	V	Очень малая	50-33

Компактность формы освоенной территории.

Показатель плотности застройки играет важнейшую роль при оценке градостроительных решений, при этом все параметры рассматриваются относительно центральной транспортной зоны или городского центра. Центральная транспортная зона определяется как место пересечения ключевых транспортных артерий, расположенное

вблизи районов с оптимальной доступностью к местам работы, жилым и рекреационным зонам.

Коэффициент компактности застройки (α_0) отражает степень сбалансированности формы освоенной территории и вычисляется по формуле:

$$\alpha_0 = \frac{A_0}{A_s}, \quad (10)$$

где

A_0 — воздушная удаленность освоенной территории от главного транспортного узла;

ΔS — воздушная удаленность территории той же площади, но имеющая форму круга, от центра круга, км, определяемая по формуле [1]:

$$\Delta S = \frac{2}{3} R = 0,377 \sqrt{S_{осв}},$$

$$\Delta S = 0,377 \sqrt{436,41} = 7,88 \quad (11)$$

Для оценки степени удаленности городской застройки от ее ядра на карте города нужно провести ряд вложенных кругов с радиусом в 1 километр, отсчитываемых от ключевого транспортного узла или центральной точки. После этого

следует вычислить площадь каждой из этих зон, находящихся в пределах застроенной территории. Иллюстрация схемы с кольцевыми областями, расходящимися от центра, представлена на рисунке 3. Величина A_n определяется по формуле:

$$A_0 = \frac{\sum S_{i-(i+1)}(L_i - L_{i+1})}{2S_{осв}} \quad (12)$$

где

$S_{i-(i+1)}$ — площадь кольцевой зоны между двумя смежными окружностями в границах освоенной территории,

L_i, L_{i+1} — радиусы смежных окружностей (см. табл. 2).

Таблица 2

К расчету средней удаленности и площадей кольцевых зон

№ п/п	Номер кольцевой зоны	Границы кольцевой зоны, км	Площадь освоенной территории, км ² , Si-(i+1)	Средняя удаленность кольцевой зоны, км, (Li+Li+1)/2	Произведение площади зоны на среднюю удаленность, Si-(i+1)*(Li+Li+1)/2
1	2	3	4	5	6
1	1	0-3	3,99	1,50	5,98
2	2	3-6	10,36	4,50	46,61
3	3	6-9	13,37	7,50	100,29
4	4	9-12	142,73	10,50	1498,61
5	5	12-15	13,93	13,50	188,04
6	6	15-18	10,35	16,50	170,71
7	Всего:	-	194,71	-	2010,24

Волгоград отнесен к городам VI группы и характеризуется территорией с очень низким уровнем компактности. Подобная оценка планировки города — редкость в градостроительной практике, что вполне закономерно, учитывая его удлиннен-

ную, вытянутую структуру. Информация о классификации территорий представлена в таблице 3, а метод расчета коэффициента компактности (α_0) представлен в таблице 2.

Таблица 3

Классификация формы освоения территории по группе городов

№ п/п	Группа городов	Характеристика формы освоения территории	Значение коэффициента α_0 для главного транспортного узла города
1	2	3	4
1	I	Весьма компактная	1,00–1,10
2	II	Компактная	1,101–1,20
3	III	Умеренно компактная	1,201–1,40
4	IV	Малокомпактная	1,401–1,70
5	V	Некомпактная	1,701–2,10
6	VI	Совсем некомпактная	Более 2,10

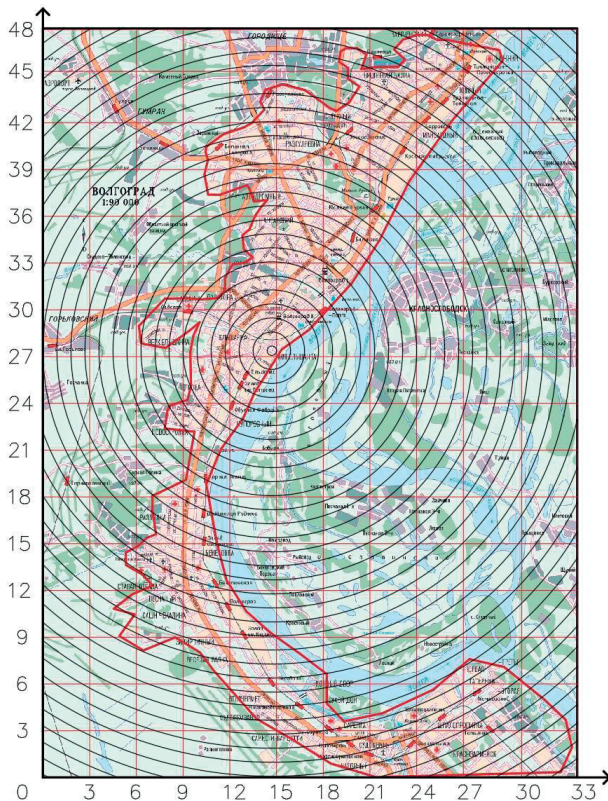


Рис. 3. Модель построения кольцевых зон километраграммы. Источник: авторы исследования

Поскольку равномерное распределение населения по всей территории практически невозможно осуществить из-за технических и экономических ограничений, мы представляем фактическое размещение людей в виде дискретных графических элементов. Каждый элемент символизирует сотню жителей и служит основой для построения модели, учитывающей удаленность от центра Волгограда. Эта модель сочетает в себе отображение расселения с областями развития многофункциональных жилых комплексов (рис. 5). Мы сохраняем предположение о минимальном расстоянии между этими элементами, следовательно, вновь используем концентрическую схему. Расстояние от жилых зон до центра рассчитывается следующим образом:

$$\bar{B}_i(n) = \frac{\sum n_j l_{ij}}{N}, \quad (13)$$

где

n_j — количество точек планограммы в зоне j , относящихся к пункту « i »,

l_{ij} — среднее расстояние от зоны j до пункта « i »,

N — общее количество точек планограммы.

Определяем удаленность населения Волгограда от пункта « i » по воздуху, опираясь на [1], и на основе вычислений строим график, показывающий минимальную среднюю и воздушную

удаленность (рис. 4). Рассчитываем показатель концентрации населения относительно пункта « i », принимая во внимание воздушное расстояние от мест проживания:

$$\bar{B}_i(n) = \frac{6750}{910} = 7,42 \text{ км},$$

$$\beta_i(n) = \frac{B_i(n)}{A_i} = \frac{7,42}{2,3} = 3,23. \quad (14)$$

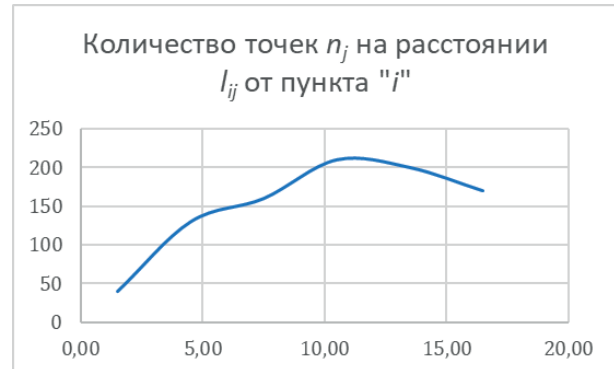


Рис. 4. График определения минимальной средней удаленности и воздушной удаленности. Источник: авторы исследования

Согласно классификации группы городов по степени удаленности населения удаленность в Волгограде можно считать «умеренной».

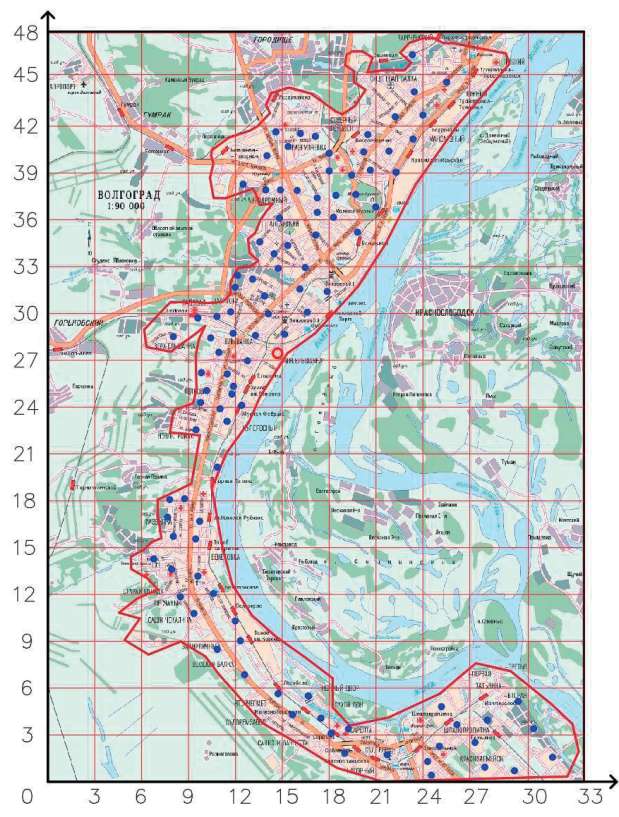


Рис. 5. График определения минимальной средней удаленности и воздушной удаленности. Источник: авторы исследования

Заключение

Графоаналитический мониторинг транспортного планирования на примере Волгограда позволяет эффективно решать ключевые городские проблемы: снижать загруженность дорог через оптимизацию инфраструктуры, рационально распределять бюджетные средства и повышать качество жизни населения за счет развития экологичного транспорта и сокращения вредных выбросов [8–10].

Проведенный анализ показал следующее:

1. Рассмотренные модели демонстрируют сходные результаты, но различаются степенью детализации. Вторая модель охватывает все параметры первой, дополняя их особенностями транспортной сети и специфическими условиями.
2. Методика особенно эффективна при проектировании новых автобусных маршрутов в районах активной застройки, что

значительно влияет на существующую транспортную систему [11–13].

Ключевые преимущества подхода базируются на интеграции планировочных и транспортных решений [14–16], учете особенностей территориального зонирования и возможности применения для прогнозирования развития городской среды. В Волгограде данный метод позволил:

- оптимально распределить функциональные зоны;
- эффективно связать их транспортной инфраструктурой;
- учитывать концентрацию населения в центре и размещение промышленных объектов на периферии.

Такой подход обеспечивает комплексное решение задач городского планирования с учетом современных требований к устойчивому развитию территорий [17–19].

Список литературы

1. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании / А. М. Яшкин, Т. М. Говоренкова, М. И. Каган [и др.]. — М.: Стройиздат, 1979. — 204 с.: ил. — В надзаг.: Гос. ком. по гражд. стр-ву и архитектуре при Госстрое СССР. Центр. н. — и. и проект. ин-т по градостроительству.
2. Территориально-пространственное развитие трамвайной транспортной инфраструктуры Москвы и ее влияние на существующую застройку / В. П. Титов, В. И. Гришин, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. — 2024. — № 3(49). — С. 40–49. — DOI: 10.52684/2312–3702–2024–49–3–40–49.
3. Планировочная структура вновь создаваемых городов: пат. 2777637 С1 Рос. Федерация, МПК E01C1/00: заявл. 15.09.2021: опубл. 08.08.2022 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина; заявитель ГАОУ ВО АГАСУ.
4. Купчикова Н. В. Основы технологии сноса, демонтажа и переработки строительных материалов в системе реновации районов: электронное учебное пособие для студентов строительных профилей бакалавриата и магистратуры / Н. В. Купчикова. — Астрахань, 2021. — 134 с. — ISBN 978–5–93026–139–4.
5. Купчикова Н. В. Градостроительная оценка с помощью графоаналитических методов в проектировании территориального пространства Астрахани / Н. В. Купчикова, К. Е. Джантаева, Е. С. Иванова // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы IV Нац. науч. — практ. конф., Астрахань, 8 февр. 2021 г. / под общ. ред. Т. В. Золиной. — Астрахань, 2021. — Т. 4. — С. 302–307.
6. Купчикова Н. В. Графоаналитическая оценка территориальных зон и транспортной динамики при реализации инвестиционно-строительных проектов Астрахани / Н. В. Купчикова, Д. Р. Шарафутдинова, Д. Р. Асланов // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы IV Нац. науч. — практ. конф., Астрахань, 8 февр. 2021 г. / под общ. ред. Т. В. Золиной. — Астрахань, 2021. — Т. 4. — С. 308–314.
7. Monitoring of the collapse of the shores of reservoirs and the technology of their surface and deep fixing / T. Zolina, S. Strelkov, N. Kupchikova, K. Kondrashin // E3S Web of Conferences: Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 October 2019. — Vol. 157. — Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. — P. 02011. — DOI: 10.1051/e3sconf/202015702011.
8. Солнцев Е. А. Методические основы территориально-пространственного развития объектов олимпийских поселений (на примере транспортной инфраструктуры олимпийских объектов г. Сочи): диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.22 «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» / Солнцев Евгений Александрович. — Москва, 2010. — 225 с.

9. Азаренкова З. В. Транспортная составляющая социально-экономических связей / З. В. Азаренкова // Градостроительство. — 2016. — № 2(42). — С. 56–62.
10. Zhabytay B. N. The development of the capital city infrastructure within the agglomeration / B. N. Zhabytay, A. Asanova // Scientific Researches in the Kirghiz Republic. — 2019. — Vol. 4. — P. 22–32.
11. Купчикова Н. В. Территориально-пространственное развитие селитебных зон города Нижневартовска с учетом биосферной совместимости / Н. В. Купчикова, Л. К. Аверина // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию науки и образования: материалы IX Междунар. науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–29 апр. 2020 г. / под общ. ред. Т. В. Золиной. — Астрахань: Астрахан. гос. архит. — строит. ун-т, 2020. — С. 504–510.
12. Веретенникова К. В. Градостроительное планирование приаэропортовых территорий крупнейших городов России / К. В. Веретенникова // Вестник евразийской науки. — 2019. — Т. 11, № 4. — С. 28.
13. Крапивко М. А. Градостроительные аспекты развития рельсового общественного транспорта в городе Томске / М. А. Крапивко, В. И. Коренев // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, Томск, 20 апр. 2023 г. — Томск: Томский гос. архит. — строит. ун-т, 2023. — С. 452–456.
14. Купчикова Н. В. Проектирование радиальных коммуникационных тоннелей при редевелопменте территорий / Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин, Е. Е. Купчиков // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы VII Нац. науч. — практ. конф. с междунар. участием, приуроч. ко Дню российской науки, Астрахань, 9 февр. 2024 г. — Астрахань: Астрахан. гос. архит. — строит. ун-т, 2024. — С. 70–78.
15. Шаяхмедов Р. И. Оценка степени риска по проекту экспертным методом в реализации инвестиционно-строительного проекта коттеджного поселка «Радужный» / Р. И. Шаяхмедов, Е. Е. Купчиков, Е. С. Иванова // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы V Нац. науч. — практ. конф. с междунар. участием, приуроч. ко Дню российской науки, Астрахань, 8–9 февр. 2022 г. — Астрахань: Астрахан. гос. архит. — строит. ун-т, 2022. — С. 175–181.
16. Деточенко Л. В. Исторические и перспективные изменения форм пространственной организации города Волгограда и Волгоградской агломерации / Л. В. Деточенко // Тенденции пространственного развития современной России и приоритеты его регулирования: материалы Междунар. науч. конф. (XIII Ежегодная науч. ассамблея АРГО), Тюмень, 12–17 сент. 2022 г. — Тюмень: ТюмГУ-Press, 2022. — С. 539–545.
17. Брылев В. А. Волгоградская область / В. А. Брылев, Л. В. Деточенко, Н. А. Лобанова // Современная Россия: географическое описание нашего Отечества. Европейская Россия и Урал. — М.: Русское географическое общество, 2021. — С. 439–447.
18. Исследование элементов улично-дорожной инфраструктуры Центрального района г. Волгограда / Ю. С. Калашникова, И. Р. Ястребов, Н. С. Богородская, В. С. Кутарев // Перспективы развития строительного комплекса: материалы XIV Междунар. науч. — практ. конф. профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Астрахань, 22–23 окт. 2020 г. — Астрахань: Астрахан. гос. архит. — строит. ун-т, 2020. — Т. 14. — С. 399–404.
19. Калашникова Ю. С. Особенности построения транспортных инфраструктур в составе линейно-протяженных градостроительных образований (на примере г. Волгограда): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.22 «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов» / Калашникова Юлия Сергеевна. — Волгоград, 2012. — 23 с.

References

1. Yashkin A. M. Grafoanaliticheskiy metod v gradostroitel'nykh issledovaniyakh i proektirovanii [Graph-analytical method in urban planning research and design] / A. M. Yashkin, T. M. Govorenkova, M. I. Kagan [et al.]. — Moscow: Stroiizdat, 1979. — 204 p.: ill.
2. Titov V. P. Territorial'no-prostranstvennoe razvitie tramvainoi transportnoi infrastruktury Moskvyy i ee vliyanie na sushchestvuyushchuyu zastroiku [Territorial and spatial development of Moscow's tram transport infrastructure and its impact on existing development] / V. P. Titov, V. I. Grishin, N. V. Kupchikova, Yu. V. Lazutkin // Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya. — 2024. — № 3(49). — P. 40–49. — DOI: 10.52684/2312-3702-2024-49-3-40-49.

3. Patent RU2777637 C1. Planirovochnaya struktura vnov' sozdavaemykh gorodov [Planning structure of newly created cities] / N. V. Kupchikova, R. I. Shayakhmedov, T. V. Zolina; applicant GAOU VO AGASU.—Appl. 15.09.2021; publ. 08.08.2022.
4. Kupchikova N. V. Osnovy tekhnologii snosa, demontazha i pererabotki stroitel'nykh materialov v sisteme renovatsii raionov [Fundamentals of demolition, dismantling and recycling of building materials in the district renovation system]: elektronnoe uchebnoe posobie dlya studentov stroitel'nykh profilei bakalavriata i magistratury / N. V. Kupchikova.—Astrakhan, 2021.— 134 p.— ISBN978-5-93026-139-4.
5. Kupchikova N. V. Gradostroitel'naya otsenka s pomoshch'yu grafoanaliticheskikh metodov v proektirovanii territorial'nogo prostranstva Astrakhani [Urban planning assessment using graph-analytical methods in designing the territorial space of Astrakhan] / N. V. Kupchikova, K. E. Dhantazaeva, E. S. Ivanova // Innovatsionnoe razvitie regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya: materialy IV Nats. nauch.—prakt. konf., Astrakhan, February 8, 2021 / ed. T. V. Zolina.—Astrakhan, 2021.— Vol. 4.— P. 302–307.
6. Kupchikova N. V. Grafoanaliticheskaya otsenka territorial'nykh zon i transportnoi dinamiki pri realizatsii investitsionno-stroitel'nykh proektov Astrakhani [Graph-analytical assessment of territorial zones and transport dynamics in the implementation of investment and construction projects in Astrakhan] / N. V. Kupchikova, D. R. Sharafutdinova, D. R. Aslanov // Innovatsionnoe razvitie regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya: materialy IV Nats. nauch.—prakt. konf., Astrakhan, February 8, 2021 / ed. T. V. Zolina.—Astrakhan, 2021.— Vol. 4.— P. 308–314.
7. Monitoring of the collapse of the shores of reservoirs and the technology of their surface and deep fixing / T. Zolina, S. Strelkov, N. Kupchikova, K. Kondrashin // E3S Web of Conferences: Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, October 24–26, 2019.— Vol. 157.— Khabarovsk: EDP Sciences, 2020.— P. 02011.— DOI: 10.1051/e3sconf/202015702011.
8. Solntsev E. A. Metodicheskie osnovy territorial'no-prostranstvennogo razvitiya ob"ektov olimpiiskikh poselenii (na primere transportnoi infrastruktury olimpiiskikh ob"ektov g. Sochi) [Methodological foundations of territorial and spatial development of Olympic settlement facilities (using the example of transport infrastructure of Olympic facilities in Sochi)]: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.23.22 / Solntsev Evgenii Aleksandrovich.—Moscow, 2010.— 225 p.
9. Azarenkova Z. V. Transportnaya sostavlyayushchaya sotsial'no-ekonomicheskikh svyazei [Transport component of socio-economic relations] / Z. V. Azarenkova // Gradostroitel'stvo.— 2016.— № 2(42).— P. 56–62.
10. Zhabytay B. N. The development of the capital city infrastructure within the agglomeration / B. N. Zhabytay, A. Asanova // Scientific Researches in the Kirghiz Republic.— 2019.— Vol. 4.— P. 22–32.
11. Kupchikova N. V. Territorial'no-prostranstvennoe razvitie selitebnykh zon goroda Nizhnevartovska s uchetom biosfernoi sovместимости [Territorial and spatial development of residential zones of Nizhnevartovsk city considering biosphere compatibility] / N. V. Kupchikova, L. K. Averina // Potentsial intellektual'no odarennoi molodezhi — razvitiyu nauki i obrazovaniya: materialy IX Mezhdunar. nauch. foruma molodykh uchenykh, innovatorov, studentov i shkol'nikov, Astrakhan, April 28–29, 2020 / ed. T. V. Zolina.—Astrakhan: Astrakhan. gos. arkh. — stroit. un-t, 2020.— P. 504–510.
12. Veretennikova K. V. Gradostroitel'noe planirovanie pri aeroportovykh territorii krupneishikh gorodov Rossii [Urban planning of airport territories in major Russian cities] / K. V. Veretennikova // Vestnik evraziiskoi nauki.— 2019.— Vol. 11, № 4.— P. 28.
13. Krapivko M. A. Gradostroitel'nye aspekty razvitiya rel'sovogo obshchestvennogo transporta v gorode Tomske [Urban planning aspects of rail public transport development in Tomsk] / M. A. Krapivko, V. I. Korenev // Izbrannye doklady 69-i Universitetskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh, Tomsk, April 20, 2023.— Tomsk: Tomskii gos. arkh. — stroit. un-t, 2023.— P. 452–456.
14. Kupchikova N. V. Proektirovanie radial'nykh kommunikatsionnykh tonnei pri redevelopment territorii [Design of radial communication tunnels in territorial redevelopment] / N. V. Kupchikova, Yu. V. Lazutkin, E. E. Kupchikov // Innovatsionnoe razvitie regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya: materialy VII Nats. nauch.—prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. ko Dnyu rossiiskoi nauki, Astrakhan, February 9, 2024.— Astrakhan: Astrakhan. gos. arkh. — stroit. un-t, 2024.— P. 70–78.
15. Shayakhmedov R. I. Otsenka stepeni riska po proektu ekspertnym metodom v realizatsii investitsionno-stroitel'nogo projekta kottedzhnogo poselka «Raduzhnyi» [Risk assessment of the project using expert method in the implementation of the investment and construction project of cottage settlement “Raduzhny”] / R. I. Shayakhmedov,

E. E. Kupchikov, E. S. Ivanova // Innovatsionnoe razvitiye regionov: potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya: materialy V Nats. nauch.—prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priuroch. ko Dnyu rossiiskoi nauki, Astrakhan, February 8–9, 2022.—Astrakhan: Astrakhan. gos. arkhit.—stroit. un-t, 2022.—P. 175–181.

16. Detochenko L. V. Istoricheskie i perspektivnye izmeneniya form prostranstvennoi organizatsii goroda Volgograda i Volgogradskoi aglomeratsii [Historical and prospective changes in the forms of spatial organization of Volgograd city and Volgograd agglomeration] / L. V. Detochenko // Tendentsii prostranstvennogo razvitiya sovremennoi Rossii i priority ego regulirovaniya: materialy Mezhdunar. nauch. konf. (XIII Ezhegodnaya nauch. assambleya ARGO), Tyumen, September 12–17, 2022.—Tyumen: TyumGU-Press, 2022.—P. 539–545.

17. Brylev V. A. Volgogradskaya oblast' [Volgograd region] / V. A. Brylev, L. V. Detochenko, N. A. Lobanova // Sovremennaya Rossiya: geograficheskoe opisanie nashego Otechestva. Evropeiskaya Rossiya i Ural.—Moscow: Russkoe

geograficheskoe obshchestvo, 2021.—P. 439–447.

18. Kalashnikova Yu. S. Issledovanie elementov ulichno-dorozhnoi infrastruktury Tsentral'nogo raiona g. Volgograda [Study of street and road infrastructure elements of the Central district of Volgograd] / Yu. S. Kalashnikova, I. R. Yastrebov, N. S. Bogorodskaya, V. S. Kutarev // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: materialy XIV Mezhdunar. nauch.—prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodykh uchenykh i studentov, Astrakhan, October 22–23, 2020.—Astrakhan: Astrakhan. gos. arkhit.—stroit. un-t, 2020.—Vol. 14.—P. 399–404.

19. Kalashnikova Yu. S. Osobennosti postroeniya transportnykh infrastruktur v sostave lineino-protyazhennykh gradostroitel'nykh obrazovaniy (na primere g. Volgograda) [Features of transport infrastructure construction within linear extended urban formations (case study of Volgograd)]: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.22 / Kalashnikova Yuliya Sergeevna.—Volgograd, 2012.—23 p.

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Золина Татьяна Владимировна профессор, доктор технических наук, старший научный сотрудник кафедры промышленного и гражданского строительства Астраханского государственного архитектурно-строительного университета Адрес: ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18 ORCID: 0000–0003–3701–8856 E-mail: zolinatv@yandex.ru	Zolina Tatyana Vladimirovna Professor, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Associate of the Department of Industrial and Civil Engineering, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering Address: Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, 414056, Astrakhan, Tatishcheva Street, 18 ORCID: 0000–0003–3701–8856 E-mail: zolinatv@yandex.ru
Рекунов Сергей Сергеевич доцент, кандидат технических наук, кафедры строительной механики Волгоградского государственного технического университета Адрес: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», 400005, г. Волгоград, проспект им. В. И. Ленина, д. 28 ORCID: 0000–0002–9360–8239 E-mail: rekunoff@mail.ru	Rekunov Sergey Sergeevich Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Department of Structural Mechanics, Volgograd State Technical University Address: Volgograd State Technical University, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28 ORCID: 0000–0002–9360–8239 E-mail: rekunoff@mail.ru

УДК 691.328.1

УЧЕТ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ НА КАТЕГОРИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

И. А. Терехов*ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ)***А. В. Ямалов***АО «ЦНИИПромзданий»*

Аннотация. Во время эксплуатации разные типы дефектов, находящиеся на одной конструкции, могут оказывать негативное влияние на ускоренный рост соседних дефектов, способствуя увеличению прежде всего их размеров до критического значения. Этот фактор совместного влияния дефектов также способствует переходу конструкций в худшее техническое состояние, вплоть до аварийного. Данное исследование направлено на определение границ зоны влияния близко расположенных дефектов на несущую способность на примере наиболее ответственного изгибаемого элемента — железобетонной балки. В качестве расчетных дефектов было рассмотрено совместное действие коррозии арматуры, вызывающее снижение площади поперечного сечения стержня, и уменьшение сечения бетона в сжатой зоне.

Ключевые слова: железобетон, несущая способность, дефект, техническое состояние, зона влияния.

UDC 691.328.1

ACCOUNTING FOR THE MUTUAL INFLUENCE OF DEFECTS ON THE TECHNICAL CONDITION CATEGORY OF STRUCTURES

I. A. Terekhov*Russian University of Transport (RUT MIIT)***A. V. Yamalov***CNIIPromzdaniy JSC*

Abstract. During service life, various defect types within a single structural element may adversely affect the propagation rate of adjacent defects, accelerating their progression toward critical dimensions. This synergistic defect interaction facilitates structural deterioration, potentially leading to failure states. This research establishes the boundaries of interaction zones between proximate defects affecting load-bearing capacity, examining reinforced concrete beams as representative critical flexural members. The investigation considers the combined effects of reinforcement corrosion reducing bar cross-sectional area and concrete section loss in the compression zone.

Keywords: reinforced concrete, load-bearing capacity, defect, structural condition, interaction zone.

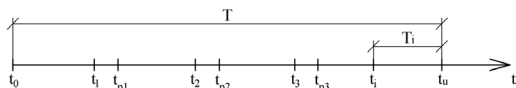
Введение

При проектировании в соответствии с ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» назначается минимальный срок службы здания. Однако фактический срок службы здания зависит

от условий эксплуатации, нарушение которых может оказать существенное влияние [1–4].

Используя методику [5], разработанную в АО «ЦНИИПромзданий», можно определить остаточный срок безопасной эксплуатации с фак-

тическими имеющимися дефектами и повреждениями конструкций (рис. 1) [6–8]. Такой подход позволит более эффективно планировать работы в рамках текущего или капитального ремонта в здании, а также назначение периодичности проведения обследований, что подтверждается отечественными [9–11] и зарубежными исследованиями [12–14].



t_0 — начальный период времени (дата изготовления или строительства),
 t_1, t_2, t_3, t_i — время проведения обследований,
 t_{p1}, t_{p2}, t_{p3} — время проведения текущего или капитального ремонта,
 t_u — время наступления аварийного состояния,
 T_i — остаточный срок эксплуатации.

Рис. 1. Продолжительность эксплуатации железобетонной конструкции. Источник: авторы исследования

Необходимо также учитывать, что в период эксплуатации накопленные дефекты конструкций могут развиваться как по количеству, так по размеру. При этом разные типы дефектов могут оказывать негативное влияние на ускоренный рост соседних дефектов, способствуя увеличению прежде всего их размеров до критического значения. Этот фактор совместного влияния дефектов также способствует переходу конструкций в худшее техническое состояние [15–17].

Дефекты по степени их влияния на строительные конструкции можно разделить на:

- дефекты, снижающие несущую способность;
- дефекты, являющиеся следствием (признаком) снижения несущей способности.

Дефекты, снижающие несущую способность, должны быть просуммированы. Пример суммарного воздействия дефектов железобетонных ригелей и балок приведен в таблице 1 [18].

Таблица 1

Суммарное воздействие дефектов железобетонных ригелей и балок

№ п/п	Дефект железобетонных ригелей и балок	Номера по порядку									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Уменьшение длины опирания	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Прогиб элементов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Трещины, образовавшиеся вследствие коррозии рабочей арматуры	-	-	X	-	X	X	X	X	-	X
4	Поперечные трещины	-	-	-	X	X	X	-	-	-	-
5	Трещины наклонные к продольной оси	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X
6	Продольные трещины от нарушения анкеровки и сдвига арматуры	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X
7	Уменьшение высоты сечения в сжатой зоне	-	-	X	-	X	X	X	-	-	X
8	Смятие (раздробление) бетона в сжатой зоне	-	-	X	-	X	X	-	X	-	X
9	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Снижение прочности бетона	-	-	X	-	X	X	X	X	-	-

Условные обозначения:

«-» — дефекты не суммируются; «X» — дефекты суммируются, в том числе для однотипных дефектов.

Данное исследование направлено на определение границ зоны влияния близко расположенных дефектов на несущую способность

Методы

Численные исследования проводились на железобетонной балке прямоугольного сечения 200×300 мм с расчетным пролетом $l_0 = 2,7$ м, растянутая арматура принята в виде 2Ø14A500, бетон класса В15. Нагружение балки проводилось равномерно распределенной нагрузкой q .

Численные исследования выполнялись в программном комплексе ATENA (рис. 2), который позволяет проводить анализ прочности и деформативности железобетонных конструкций, а также учитывает образование и развитие трещин [19,20].

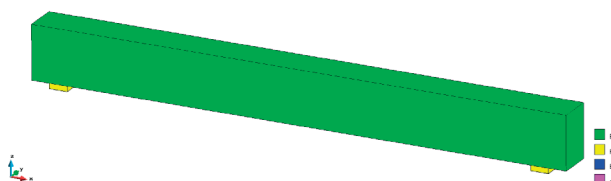


Рис. 2. Общий вид балки из объемных конечных элементов. Источник: авторы исследования

В программном комплексе моделирование бетона выполняется объемными конечными элементами, арматуры — стержневыми, а их сцепление — с помощью специальных связей. Модель бетона, заложенная в программном комплексе ATENA, сочетает в себе уравнения теории пластичности (при сжатии) и механики разрушения (при растяжении).

В качестве расчетных парных дефектов были приняты следующие:

1. Коррозия арматуры, снижающая поперечное сечение стержня на 5% — дефект «А» (рис. 3) [21];

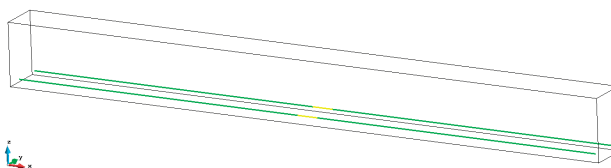


Рис. 3. Моделирование балки с коррозией арматуры в середине пролета. Источник: авторы исследования

на примере наиболее ответственного изгибаемого элемента — железобетонной балки.

2. Снижение высоты сечения бетона в сжатой зоне на 5% — дефект «Б» (рис. 4).

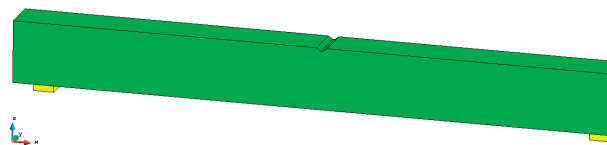


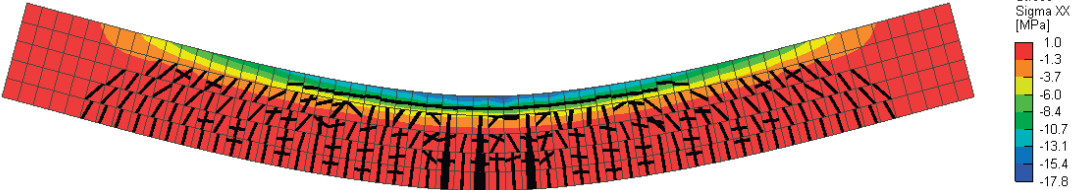
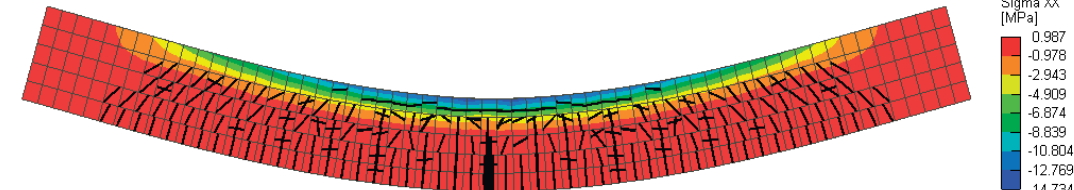
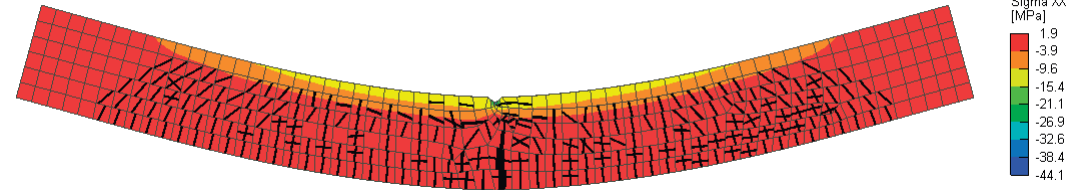
Рис. 4. Моделирование балки с уменьшением высоты сечения в сжатой зоне бетона. Источник: авторы исследования

Эквивалентная сосредоточенная сила $N = q \cdot l_0$ принималась за несущую способность балки, при которой происходило достижение в арматуре предела текучести.

На первом этапе исследования проводилось сопоставление эквивалентной сосредоточенной силы, рассчитанной согласно методике предельных состояний в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» (СНиП 52–01–2003, с изменениями № 1, 2), и результатов, полученных с использованием программного комплекса ATENA. Моделирование дефектов осуществлялось в центральной части пролета. В таблице 2 показано распределение напряжений в бетоне в момент текучести арматуры. При моделировании уменьшения сечения бетона в сжатой зоне (дефект «Б») нарушается симметричность триангуляции и возникает концентрация напряжений в отдельных конечных элементах, из-за чего изменяется цветовое отображение напряжений. При этом общая картина распределения напряжений по сечению сохраняется.

Результаты расчета имеют расхождение не более 10%, что подтверждает корректность задания расчетной модели. В свою очередь, это расхождение связано с применением в ПК ATENA криволинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры, заложенных в Eurocode 2: Design of concrete structures.

Таблица 2

Несущая способность балок					
Расчетная ситуация	Ручной расчет по СП 63.13330.2018	Расчет в ПК ATENA			Расхождение, %
	Несущая способность, т	Шаг расчета	Напряжение в арматуре, МПа	Нагрузка, при которой достигается предел текучести, т	
Балка без дефектов	9,73	126	435,3	10,4	6,44
Балка с дефектом «А»					
	8,92	113	434,7	9,33	4,39
Балка с дефектом «Б»					
	9,12	122	434,3	10,07	9,43
Балка с дефектами «А» + «Б»					
	8,37	109	434,9	9,0	7,0

Результаты

Расчетные ситуации и соответствующие им случаи приведены в таблице 3. Например, для А (0) + Б (1 h) (ситуация 1, случай 3) подразумевается расположение дефекта «А» (коррозия

арматуры) в середине пролета, а дефекта «Б» (уменьшение сечения в сжатой зоне бетона) на расстоянии 1 h.

Таблица 3

Расчетные ситуации и случаи					
Ситуации	Случай				
	1	2	3	4	5
1	А (0) + Б (0)	А (0) + Б (0,5 h)	А (0) + Б (1 h)	А (0) + Б (1,5 h)	А (0) + Б (2 h)
2	Б (0) + А (0)	Б (0) + А (0,5 h)	Б (0) + А (1 h)	Б (0) + А (1,5 h)	Б (0) + А (2 h)
3	А (-0,5) + Б (-0,5 h)	А (-0,5) + Б (0)	А (-0,5) + Б (0,5 h)	А (-0,5) + Б (1 h)	А (-0,5) + Б (1,5 h)

Ситуации	Случай				
	1	2	3	4	5
4	Б (-0,5) + А (-0,5 h)	Б (-0,5) + А (0)	Б (-0,5) + А (0,5 h)	Б (-0,5) + А (1 h)	Б (-0,5) + А (1,5 h)
5	А (-1) + Б (-1 h)	А (-1) + Б (-0,5)	А (-1) + Б (0)	А (-1) + Б (0,5)	А (-1) + Б (1 h)
6	Б (-1) + А (-1 h)	Б (-1) + А (-0,5)	Б (-1) + А (0)	Б (-1) + А (0,5)	Б (-1) + А (1 h)

Графики несущей способности для расчетных случаев 1 и 6, приведенные на рисунках 5 и 6, были построены следующим образом. Сначала определялась несущая способность с одним дефектом, который был зафиксирован (горизонтальная линия на графике). Далее добавлялся второй дефект, который удалялся на расстояние 2 h с шагом 0,5 h, и строился график с двумя дефектами. Зоной влияния второго дефекта является расстояние, при котором несущая способность увеличивалась до значений с первым дефектом. Графики несущей способности для расчетных случаев 2–5 выполнены по аналогии, в связи с чем в данной статье не представлены.

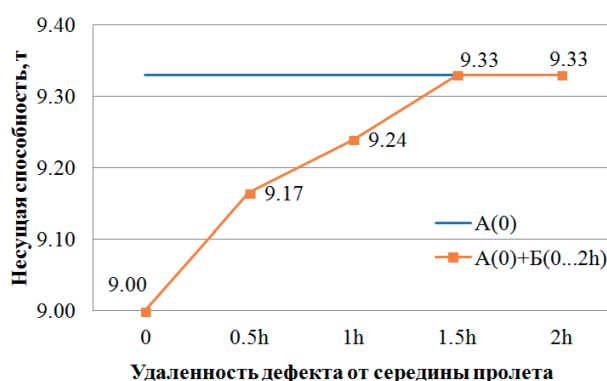


Рис. 5. Несущая способность балки с парным дефектом для случая 1. Источник: авторы исследования

Заключение

Во время эксплуатации разные типы дефектов, находящиеся на одной конструкции, могут оказывать негативное влияние на ускоренный рост соседних дефектов, способствуя увеличению прежде всего их размеров до критического значения. Этот фактор совместного влияния дефектов также способствует переходу конструкций в худшее техническое состояние. В ходе исследований железобетонной балки с подобными дефектами

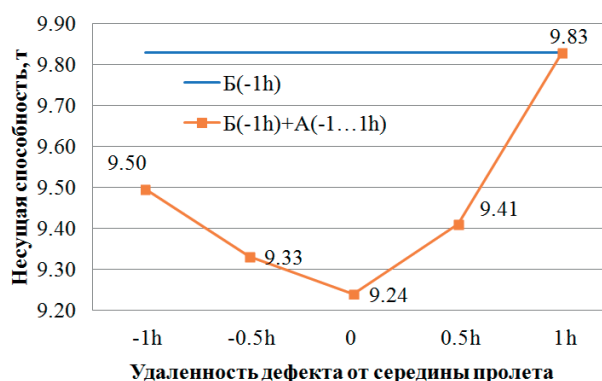


Рис. 6. Несущая способность балки с парным дефектом для случая 6. Источник: авторы исследования

Анализ результатов исследований выявил, что существенное воздействие оказывают дефекты, находящиеся по обеим сторонам от центральной части пролета. Область их влияния в расчетных условиях простирается на 1,5–2,0 h. В связи с этим для железобетонных стержневых конструкций рекомендуется считать основополагающим для суммирования дефектов величину, равную удвоенному наибольшему размеру поперечного сечения элемента. Для балок с высоким сечением это расстояние рекомендуется ограничить размером в 1,5 метра.

было выявлено, что наиболее существенное воздействие оказывают дефекты, находящиеся по обеим сторонам от центра пролета. В расчетных условиях их влияние распространяется на область, протяженность которой составляет 1,5–2,0 h. Полученные данные рекомендуется применять в методике определения допустимых периодов безопасной эксплуатации, созданной АО «ЦНИИПромзданий».

Список литературы

1. Чаганов А. Б. Анализ методов оценки долговечности и сроков службы промышленных зданий / А. Б. Чаганов, Д. С. Муравьева // Дневник науки. — 2019. — № 10(34). — С. 14.

2. Купчикова Н. В. Технология реконструкции, санации и капитального ремонта зданий, включая экспертизу геоподосновы, оснований и фундаментов / Н. В. Купчикова. — Астрахань:

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019.— 105 с.— ISBN978-5-93026-077-9.

3. Alexander M. Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures—review and critique / M. Alexander, H. Beushausen // *Cement and Concrete Research*.— 2019.— Vol. 122.— P. 17–29.— DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.04.018.

4. Zheng Y. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete / Y. Zheng, Y. Zhang, J. Zhuo, Y. Zhang, C. Wan // *Construction and Building Materials*.— 2022.— Vol. 359.— URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129360> (дата обращения: 28.08.2025).

5. Mechanical safety of reinforced concrete structures at all stages of the life cycle / I. A. Terekhov, N. N. Trekin, E. N. Kodysh, S. D. Shmakov // *E3S Web of Conferences: XXVI International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2023)*, Tashkent, 26–28 апреля 2023 г.— Vol. 410.— EDP Sciences, 2023.— P. 02012.— DOI: 10.1051/e3sconf/202341002012.

6. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, N. G. Kelasiev [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019*, Moscow, 13–15 ноября 2019 г.— Vol. 1425.— Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020.— P. 012050.— DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012050.

7. Бондаренко В. М. Модели в теориях деформации и разрушения строительных материалов / В. М. Бондаренко, В. С. Федоров // *Academia. Архитектура и строительство*.— 2013.— № 2.— С. 103–105.

8. Федоров В. С. Модель термосилового сопротивления железобетонных элементов стержневых конструкций / В. С. Федоров, В. Е. Левитский, И. А. Соловьев // *Строительство и реконструкция*.— 2015.— № 5(61).— С. 47–55.

9. Пшеничкина В. А. Оценка остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций эксплуатируемых промышленных зданий / В. А. Пшеничкина, К. Н. Сухина, В. С. Бабалич, К. А. Сухин.— М.: Изд-во АСВ, 2017.— 176 с.

10. Конструктивные решения защиты одноэтажных каркасных зданий от прогрессирующего обрушения / Н. Г. Келасьев, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш [и др.] // *Промышленное и гражданское строительство*.— 2021.— № 3.— С. 17–22.— DOI: 10.33622/0869-7019.2021.03.17-22.

11. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий / К. В. Авдеев, В. В. Бобров, П. В. Скакун [и др.] // *Промышленное и гражданское строительство*.— 2023.— № 7.— С. 36–42.— DOI: 10.33622/0869-7019.2023.07.36-42.

12. Taffese W. Z. Internet of Things based durability monitoring and assessment of reinforced concrete structures / W. Z. Taffese, E. Nigussie, J. Isoaho // *Procedia Computer Science*.— 2019.— Vol. 155.— P. 672–679.— DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.096.

13. Taffese W. Z. Machine learning for durability and service-life assessment of reinforced concrete structures: Recent advances and future directions / W. Z. Taffese, E. Sistonen // *Automation in Construction*.— 2017.— Vol. 77.— P. 1–14.— DOI: 10.1016/j.autcon.2017.01.016.

14. Wang Z. Hierarchical life-cycle design of reinforced concrete structures incorporating durability, economic efficiency and green objectives / Z. Wang, W. Jin, Y. Dong, D. M. Frangopol // *Engineering Structures*.— 2018.— Vol. 157.— P. 119–131.— DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.11.022.

15. Результаты обследования Радиобашни В. Г. Шухова / Э. Н. Кодыш, А. Н. Мамин, В. В. Бобров [и др.] // *Строительство и реконструкция*.— 2017.— № 6(74).— С. 43–48.

16. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм / В. С. Федоров, Н. Н. Трекин, Э. Н. Кодыш, И. А. Терехов // *Строительство и реконструкция*.— 2023.— № 3(107).— С. 58–69.— DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-58-69.

17. Кодыш Э. Н. Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов // *Промышленное и гражданское строительство*.— 2018.— № 6.— С. 28–31.

18. Терехов И. А. Учет суммарного влияния дефектов на техническое состояние железобетонных колонн, ригелей, балок и стропильных конструкций / И. А. Терехов // *Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 г.*— Т. 2.— Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023.— С. 139–143.

19. Cervenka V. ATENA—a tool for engineering analysis of fracture in concrete / V. Cervenka, J. Cervenka, R. Pukl // *Sadhana*.— 2002.— Vol. 27, No. 4.— P. 485–492.— DOI: 10.1007/bf02706996.

20. Modelling of shear-critical, lightly reinforced concrete T-beams with externally bonded CFRP using ATENA Science / F.H. Njoko, A. Tambusay, A. Jamieson [et al.] // *Civil Engineering Dimension*.— 2023.— Vol. 25, No. 2.— P. 67–77.— DOI: 10.9744/ced.25.2.67–77.

21. Терехов И. А. Критерии оценки технического состояния железобетонных плит при коррозии арматуры / И. А. Терехов // *Строительство и реконструкция*.— 2022.— № 6(104).— С. 128–139.— DOI: 10.33979/2073–7416–2022–104–6–128–139.

References

1. Chaganov A. B. Analiz metodov otsenki dolgovechnosti i srokov sluzhby promyshlennykh zdaniy [Analysis of methods for assessing durability and service life of industrial buildings] / A. B. Chaganov, D. S. Muravyeva // *Dnevnik nauki*.— 2019.— № 10(34).— P. 14.

2. Kupchikova N. V. Tekhnologiya rekonstruktsii, sanatsii i kapitalnogo remonta zdaniy, vkluychaya ekspertizu geopodosnovoy, osnovanii i fundamentov [Technology of reconstruction, rehabilitation and major repair of buildings, including examination of geological subbase, foundations and footings] / N. V. Kupchikova.— Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitelnyi universitet, 2019.— 105 p.— ISBN978–5–93026–077–9.

3. Alexander M. Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures—review and critique / M. Alexander, H. Beushausen // *Cement and Concrete Research*.— 2019.— Vol. 122.— P. 17–29.— DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.04.018.

4. Zheng Y. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete / Y. Zheng, Y. Zhang, J. Zhuo, Y. Zhang, C. Wan // *Construction and Building Materials*.— 2022.— Vol. 359.— URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129360> (accessed: 28.08.2025).

5. Mechanical safety of reinforced concrete structures at all stages of the life cycle / I. A. Terekhov, N. N. Trekin, E. N. Kodysh, S. D. Shmakov // *E3S Web of Conferences: XXVI International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2023)*, Tashkent, April 26–28, 2023.— Vol. 410.— EDP Sciences, 2023.— P. 02012.— DOI: 10.1051/e3sconf/202341002012.

6. The improvement of protection methods from the progressive collapse of one-storey industrial buildings / N. N. Trekin, E. N. Kodysh, N. G. Kelasiev [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series: International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019*, Moscow, November 13–15, 2019.— Vol. 1425.— Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020.— P. 012050.— DOI: 10.1088/1742–

6596/1425/1/012050.

7. Bondarenko V. M. Modeli v teoriyakh deformatsii i razrusheniya stroitelnykh materialov [Models in theories of deformation and failure of construction materials] / V. M. Bondarenko, V. S. Fedorov // *Academia. Arkhitektura i stroitelstvo*.— 2013.— № 2.— P. 103–105.

8. Fedorov V. S. Model termosilovogo soprotivleniya zhelezobetonnykh elementov sterzhnevnykh konstruksii [Model of thermomechanical resistance of reinforced concrete elements of frame structures] / V. S. Fedorov, V. E. Levitskii, I. A. Solovyev // *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*.— 2015.— № 5(61).— P. 47–55.

9. Pshenichkina V. A. Otsenka ostatochnogo resursa nesushchikh zhelezobetonnykh konstruksii ekspluatiruemykh promyshlennykh zdaniy [Assessment of residual resource of load-bearing reinforced concrete structures of industrial buildings in operation] / V. A. Pshenichkina, K. N. Sukhina, V. S. Babalich, K. A. Sukhin.— Moscow: ASV, 2017.— 176 p.

10. Kelasyev N. G. Konstruktivnye resheniya zashchity odnoetazhnykh karkasnykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Structural solutions for protection of single-storey frame buildings from progressive collapse] / N. G. Kelasyev, N. N. Trekin, E. N. Kodysh [et al.] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*.— 2021.— № 3.— P. 17–22.— DOI: 10.33622/0869–7019.2021.03.17–22.

11. Avdeev K. V. Obsledovanie i vosstanovlenie povrezhdennykh konstruksii zdaniy vsledstvie vzryvnykh i temperaturnykh vozdviizhiv [Inspection and restoration of damaged building structures due to explosive and thermal effects] / K. V. Avdeev, V. V. Bobrov, P. V. Skakun [et al.] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*.— 2023.— № 7.— P. 36–42.— DOI: 10.33622/0869–7019.2023.07.36–42.

12. Taffese W. Z. Internet of Things based durability monitoring and assessment of reinforced concrete structures / W. Z. Taffese, E. Nigussie, J. Isoaho // *Procedia Computer Science*.— 2019.— Vol. 155.— P. 672–679.— DOI: 10.1016/j.procs.2019.08.096.

13. Taffese W.Z. Machine learning for durability and service-life assessment of reinforced concrete structures: Recent advances and future directions / W. Z. Taffese, E. Sistonen // Automation in Construction. — 2017. — Vol. 77. — P. 1–14. — DOI: 10.1016/j.autcon.2017.01.016.
14. Wang Z. Hierarchical life-cycle design of reinforced concrete structures incorporating durability, economic efficiency and green objectives / Z. Wang, W. Jin, Y. Dong, D. M. Frangopol // Engineering Structures. — 2018. — Vol. 157. — P. 119–131. — DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.11.022.
15. Kodysh E. N. Rezultaty obsledovaniya Radiobashni V. G. Shukhova [Results of inspection of V. G. Shukhov Radio Tower] / E. N. Kodysh, A. N. Mamin, V. V. Bobrov [et al.] // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. — 2017. — № 6(74). — P. 43–48.
16. Fedorov V. S. Kriterii dlya otsenki kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnykh kolonn, rigelei, balok i ferm [Criteria for assessing the technical condition category of reinforced concrete columns, beams, girders and trusses] / V. S. Fedorov, N. N. Trekin, E. N. Kodysh, I. A. Terekhov // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. — 2023. — № 3(107). — P. 58–69. — DOI: 10.33979/2073-7416-2023-107-3-58-69.
17. Kodysh E. N. O dno et a z h n y e proizvodstvennye zdaniya s ekspluatiruemymi ploshchadyami v mezhfermennom prostranstve [Single-storey industrial buildings with usable areas in inter-truss space] / E. N. Kodysh, N. N. Trekin, I. A. Terekhov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. — 2018. — № 6. — P. 28–31.
18. Terekhov I. A. Uchet summarnogo vliyaniya defektov na tekhnicheskoe sostoyanie zhelezobetonnykh kolonn, rigelei, balok i stropilnykh konstruksii [Accounting for the cumulative influence of defects on the technical condition of reinforced concrete columns, beams, girders and roof structures] / I. A. Terekhov // Molodezh i nauka: aktualnye problemy fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy: materialy VI Vserossiiskoi natsionalnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh, Komsomolsk-na-Amure, April 10–14, 2023. — Vol. 2. — Komsomolsk-na-Amure: Komsomolskii-na-Amure gosudarstvennyi universitet, 2023. — P. 139–143.
19. Cervenka V. ATENA—a tool for engineering analysis of fracture in concrete / V. Cervenka, Ja. Cervenka, R. Pukl // Sadhana. — 2002. — Vol. 27, No. 4. — P. 485–492. — DOI: 10.1007/bf02706996.
20. Njoko F. H. Modelling of shear-critical, lightly reinforced concrete T-beams with externally bonded CFRP using ATENA Science / F. H. Njoko, A. Tambusay, A. Jamieson [et al.] // Civil Engineering Dimension. — 2023. — Vol. 25, No. 2. — P. 67–77. — DOI: 10.9744/ced.25.2.67-77.
21. Terekhov I. A. Kriterii otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnykh plit pri korrozii armatury [Criteria for assessing the technical condition of reinforced concrete slabs under reinforcement corrosion] / I. A. Terekhov // Stroitelstvo i rekonstruktsiya. — 2022. — № 6(104). — P. 128–139. — DOI: 10.33979/2073-7416-2022-104-6-128-139.

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Терехов Иван Александрович кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений РУТ (МИИТ) Адрес: ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9 ORCID: 0009–0007–0711–0340 E-mail: terekhov-i@mail.ru	Terekhov Ivan Alexandrovich Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Building Structures, Buildings and Facilities, Russian University of Transport (RUT MIIT) Address: Russian University of Transport, 127994, GSP-4, Moscow, Obraztsova Street, 9, Building 9 ORCID: 0009–0007–0711–0340 E-mail: terekhov-i@mail.ru
Ямалов Александр Викторович аспирант, научный сотрудник отдела научных исследований и разработки конструктивных систем ЦНИИПромзданий Адрес: АО «Центральный научно- исследовательский и проектно- экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений — ЦНИИПромзданий», 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 46, корп. 2. ORCID: 0009–0003–9655–8956 E-mail: yamalov@me.com	Yamalov Alexander Viktorovich Postgraduate Student, Research Associate of the Department of Scientific Research and Development of Structural Systems, CNIIPromzdaniy JSC Address: Central Research and Design Institute of Industrial Buildings and Structures JSC, 127238, Moscow, Dmitrovskoye Shosse, 46, Building 2 ORCID: 0009–0003–9655–8956 E-mail: yamalov@me.com

УДК 004.8:62-501.4

ЗАДАЧИ, ВЫЗОВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Г. Г. Красноженов

С. А. Лебедев

НИУ «Высшая школа экономики» (ВШЭ)

Аннотация. Статья посвящена анализу существующих трендов и вытекающих из направления развития интеллектуальных технологий актуальных задач для организаций, осуществляющих в Российской Федерации переход на цифровое проектирование.

Ключевые слова: ИИ, транспортное проектирование, обработка естественного языка, генеративный дизайн, компьютерное зрение.

UDC 004.8:62-501.4

OBJECTIVES, CHALLENGES AND EFFECTIVENESS OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN DIGITAL DESIGN

G. G. Krasnozhenov

S. A. Lebedev

National Research University Higher School of Economics (HSE)

Abstract. This article analyzes existing trends and challenges arising from the development of intelligent technologies that are relevant for organizations implementing the transition to digital design in the Russian Federation.

Keywords: AI, transport design, natural language processing, generative design, computer vision.

Введение

Тренд на развитие и внедрение технологий искусственного интеллекта (далее — ИИ) является общемировым. Прогресс возможностей и приложений ИИ носит взрывной характер и занимает лидирующие места среди всех технологических трендов¹.

В Российской Федерации эта сфера деятельности также входит в число государственных приоритетов. Это направление зафиксировано в Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года и Указе Президента РФ от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».

В то же время различные отрасли сталкиваются с определенными барьерами на пути повсеместного распространения интеллектуальных

технологий [1], в том числе и отрасли строительного проектирования и дизайна [2]. Анализ опыта использования технологий искусственного интеллекта в транспортном проектировании и смежных отраслях [3] показал, что основным барьером является недостаточный уровень цифровизации информации, которой оперируют и которую создают проектные организации. Путь преодоления этого барьера определен распоряжением Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р (ред. от 21.10.2024) «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года» в части перехода на технологии информационного моделирования (далее — ТИМ, зарубежный аналог — BIM) и, в частности, использования в качестве основ-

¹ См., например, McKinsey Technology Trends Outlook 2024. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech>

ной части проекта цифровых информационных моделей (ЦИМ) зданий, сооружений, объектов транспортной инфраструктуры. Они описаны в постановлении Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов...».

Имеются основания утверждать, что названный переход на цифровые модели является в настоящее время главным вызовом в градостроительстве и транспортном проектировании. Если нормативная и отраслевая регулирующая база определена еще несколько лет назад (например, серией сводов правил СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве», положениями ГрК РФ), то практика создания и использования ТИМ в РФ распространяется по траектории увеличивающегося запаздывания по сравнению с зарубежной отраслевой практикой. Прежде всего, как подчеркнуто в исследовании [3], такое отставание определено уходом с российского рынка всех без исключения крупнейших поставщиков лучшего и наиболее развитого программного обеспечения для проведения проектных работ: продукты Autodesk, MicroStation, ARCHICAD, Rhino и другие, известные каждому проектировщику, перестали распространяться и поддерживаться на территории страны. Российские компании nanoCAD, «Компас-3D», «ТИМ КРЕДО», Renga ускоренными темпами развивают свои продукты, но до функциональности программного обеспечения лидеров индустрии, особенно в части приложений ИИ, им предстоит пройти еще большой путь. С другой стороны, важной вехой на пути перехода к цифровому проектированию является перевод в машиночитаемый и машинопонимаемый вид отраслевых требований и стандартов всей документации, сопутствующей проектной работе. В этой части успехи скромны не только в России, но и за рубежом: превращение нормативов в алгоритмизированные, цифровые форматы является принципиальным и крайне масштабным переворотом в регулировании отрасли.

Здесь следует заметить, что и в других областях человеческой деятельности внедрение цифровых технологий, в частности технологий ИИ, сталкивалось с казалось бы непреодолимым

барьером трудностей оцифровки человеческой деятельности. Например, до недавнего времени казалось, что процессы управления персоналом относятся к гуманитарной сфере и никак не могут быть переведены в область автоматизированного управления информацией. Появление и взрывной рост возможностей больших языковых моделей (LLM) [4] принципиально изменили эту ситуацию. Так, в настоящее время автоматизированные системы, базирующиеся на технологиях обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) и LLM, в частности, успешно внедряются в крупнейших корпорациях, управляя всем процессом управления персоналом: от анализа резюме и проведения (автоматизированного) интервьюирования соискателей до анализа карьерной траектории и управления мотивацией. Роль специалиста по управлению персоналом сводится к руководству вполне самостоятельным агентом ИИ (или ансамблем агентов), способным заменить целый отдел. Суть произошедшего перелома заключается в том, что LLM позволили преодолеть барьер, который не могли преодолеть сами люди: вместо того, чтобы перевести информацию, производимую и потребляемую человеком, (в основном тексты и изображения) в вид, понимаемый машиной, LLM научились понимать эту информацию как есть. Два основных источника информации для современного человечества — изображения и тексты — стали машинопонимаемыми без привлечения человеческого труда.

Безусловно, описанный тренд распространяется на все отрасли деятельности: в медицине LLM читают истории болезней, анализируют снимки больных, пишут диагнозы и планы лечения, автоматизированные робототехнические устройства активно осваивают территории, где раньше мог применяться только человек. Наконец, в проектировании городской инфраструктуры также активно развиваются успешные продукты на базе ИИ. Например, Autodesk создала отдельный дивизион и разработала продукт Autodesk AI², интегрированный с другими продуктами компании. Этот продукт соединяет практически все возможные технологии ИИ, доступные на сегодняшний момент: от динамического моделирования (предикция карты затопления) до детекции объектов, от генеративного дизайна до анализа больших данных. В числе прочих функции Autodesk AI доступны и в среде AutoCAD.

Также одним из известных примеров применения генеративного дизайна в среде AutoCAD

² Режим доступа: <https://www.autodesk.com/solutions/autodesk-ai>

является Civil 3D. Этот модуль позволяет производить автоматизированное 3D-моделирование площадных и линейных объектов инфраструктуры (развязок, железных дорог, площадей, прилегающих территорий, дорог) и ряд других функций. Программа позволяет работать с топографией местности, геодезией, сетями инженерного назначения, в сфере землеустройства. Другой приобретенный компанией Autodesk норвежский стартап Spacemaker (в настоящее время Autodesk Forma) изначально был построен на применении современных технологий ИИ. В настоящее время Forma используется для автоматизации ранней стадии (концептуального) объемного проектирования. С учетом параметров окружающей среды (ветер, инсоляция и т. п.) автоматически создаются концепции зданий качества эскиза, основу продукта

Метод

В целях определения поля исследования выделим следующие блоки отраслевых задач и процессы:

- предпроектная подготовка (в части анализа информации оптического и других видов сканирования, разработки концептуального дизайна, предварительной планировки, проработки идей);
- собственно проектирование (создание цифровых моделей (ТИМ), поиск ошибок в рамках ТИМ);
- работа с проектной документацией (извлечение данных из исходной документации, проверка документации, перенос данных в ЦИМ, формирование результирующей проектной документации).

Масштаб и скорость развития интеллектуальных приложений в отраслевых задачах

Основные тренды по скорости развития продуктов, основывающихся на технологиях ИИ, можно определить следующим образом. В ранее проведенном исследовании [3] были проанализированы практически все российские и зарубежные отраслевые продукты. При этом для них был определен один из четырех классов:

1. Среды общих данных (СОД);
2. Традиционные ИС;
3. Одномодульные и облачные сервисы;
4. Открытые решения или программные библиотеки для разработки.

Небольшое количество СОД, которые можно называть «экосистемами цифрового проектирования», фактически определяют рынок предложения ПО в области строительного и транспортного проектирования. Их разрабатывают крупнейшие корпорации, которые собирают все перспективные и успешные стартапы, вкладывают значительные

составляют генеративные модели и оптимизационные алгоритмы.

Таким образом, на начало 2025 года сложилась уникальная ситуация, когда барьеры, стоящие на пути внедрения передовых технологий искусственного интеллекта, помогают преодолевать сами эти технологии, причем в буквальном смысле [5, 6].

Уникальность ситуации требует и соответствующих нестандартных действий. Цель настоящей статьи — сформировать целевой образ информационной инфраструктуры проектной организации, опирающейся и ориентирующейся на интеллектуальные технологии и цифровое моделирование, и наметить вехи для достижения такого образа.

Все названные задачи и процессы в той или иной мере уже затронуты внедрением продуктов на базе технологий ИИ, однако если в отношении зарубежных процессов можно говорить о коммерческих продуктах, то в Российской Федерации доступных готовых продуктов на рынке не представлено, соответствующие решения находятся в стадии активной разработки. Сформулированные выводы и предложения опираются именно на (потенциально) доступные в России продукты — с точки зрения применимости для российских компаний и поддержания суверенитета государства в интеллектуальных разработках.

по российским меркам бюджеты в развитие приложений на базе ИИ и достигают впечатляющих успехов в этой отрасли.

Поэтому, несмотря на уход компании Autodesk с российского рынка, она остается крупнейшим поставщиком программного обеспечения для проектирования: продукты AutoCAD, Revit, 3ds Max и другие продолжают использовать, по разным оценкам, более половины специалистов, занятых в архитектурном и транспортном проектировании, строительстве и машиностроении.

Классические информационные системы обычно состоят из нескольких модулей, реализующих определенный класс функциональности и интегрированных между собой. Отличие от СОД только в масштабе (охватываемых задач, уровне поддержки пользователей и т. п.).

С другой стороны, отдельные приложения, модули, программные библиотеки обычно означа-

ют раннюю стадию развития продукта (или продуктовой линейки) и производятся стартапами, малыми компаниями. В то же время именно они зачастую используют самые передовые технологии, чтобы получить конкурентное преимущество.

Успешные малые продукты затем вливаются в состав традиционных гигантов индустрии.

Распределение классов программных продуктов по решаемым задачам приведено на рис. 1.

Блок подпроцессов/Тип ИС	Среды общих данных (СОД)	Традиционные ИС	Одномодульные сервисы	Открытые решения
Предпроектная работа, обследование территорий		75,00%	25,00%	
Эскизное проектирование, прототипирование		11,76%	76,47%	11,76%
Разработка геометрической части проекта	22,22%	33,33%	33,33%	11,11%
Разработка проектной документации		14,29%	85,71%	
Вся проектная работа	87,50%	12,50%		
Контроль исполнения проекта		83,33%	16,67%	

Рис. 1. Распределение классов программных продуктов по решаемым задачам. Источник: авторы исследования

Из анализа приведенного распределения можно сделать следующие выводы:

1. Для процедур предпроектного обследования сложилась вполне стабильная система предложений ПО в традиционном исполнении, но в последнее время появляется небольшое количество (четверть общего числа) стартапов, предлагающих новые решения;
2. В части эскизного проектирования, концептуального дизайна, прототипирования, создания презентаций для предпроектных контактов с заказчиками работ ситуация совершенно иная. Более трех четвертей предлагаемого рынком ПО — новые малые сервисы. Забегая вперед, отметим, что большинство из них базируется на сверхактуальной технологии генеративного дизайна, осуществляемого за счет применения технологий ИИ. В этой части задач предложение нового так велико, что и российские специалисты смогут найти для себя подходящие варианты решений;
3. Крайне интересна ситуация с разработкой геометрической части проекта, то есть самой цифровой информационной модели (ЦИМ). Преобразования рынка здесь затрагивают все классы ПО — от крупнейших СОД до малых открытых программных библиотек. Такое положение вполне ожидаемо, так как работа с ЦИМ является ключевым аспектом всей описываемой деятельности. Здесь инновации осуществляют все участники рынка — от гигантов индустрии до стартапов;
4. В части работы с проектной документацией баланс смещается в сторону малых быстро развивающихся компаний. Отметим, что они базируются на утилизации возможностей LLM — еще одной прорывной технологии ИИ помимо генеративного дизайна. Гиганты индустрии крайне неохотно применяют технологии ИИ в этой части, так как для них репутационные потери крайне чувствительны, и любая ошибка в документах, которые

синтезирует, например приложение Autodesk, обойдутся компании в колоссальные потери. Крупные ИС пытаются использовать ИИ для работы с текстовой частью проекта, но неохотно (менее 15%), тогда как более 85% малых компаний пробует свои силы в этом перспективном направлении;

5. Неудивительно, что весь спектр проектных работ (все ранее описанные блоки) покрывают в основном (более 87%) крупнейшие игроки, СОД;
6. Контроль за исполнением проекта, например контроль за ходом строительства, осуществляется в основном (83%) компаниями среднего звена, традиционными информационными системами, состоящими из нескольких модулей и имеющими зачастую облачную и пользовательскую компоненты.

Анализ темпов развития предложений по блокам работ показывает, что в области предпроектных исследований и контроля исполнения проекта существенных изменений ожидать не следует. Развитие этих направлений с использованием технологий ИИ вряд ли станет приоритетом для российских компаний. В части эскизного прототипирования предложений настолько много, что российские проектировщики, несмотря на международную обстановку, найдут себе инструменты для работы без особых затруднений. К сожалению, то же соображение не актуально для работы с проектной документацией. С одной стороны, в этой части есть множество новых предложений, с другой — все зарубежные предложения просто неприменимы, так как они не работают с российскими нормами и не ориентированы на специфику отраслевых задач РФ. Рынок подтверждает перспективность разработок, однако проектным организациям РФ следует искать решения внутри страны или даже инициировать собственные разработки: более 85 % малых форм ПО для разработки проектной докумен-

тации (рис. 1) показывает, что такой подход в целом оправдывает себя.

Наконец, приведенная инфографика отражает глобальную трансформацию, касающуюся применения технологий ИИ в построении ЦИМ. Все компании рынка так или иначе вовлечены в эту деятельность. Мы видим трансформацию, глобальную перестройку базовых принципов работы с ЦИМ: от ручного построения цифровой модели в редакторе через параметрическое

моделирование к управляемой специалистом работе ИИ-агентов. Следует отметить, что данный процесс еще находится в стадии становления и ориентироваться на решения с доказанной эффективностью в этой части стоит на перспективу до трех лет. Тем более что в отношении ПО российского происхождения это направление находится не просто в начальной позиции, а скорее в предстартовой.

Технологии ИИ в отраслевых задачах

Проведенное исследование распространения технологий ИИ в программных решениях, автоматизирующих проектную работу, позволяет определить лидирующие в отраслевых задачах классы технологий ИИ. Среди них по масштабу распространения выделяются следующие четыре класса:

1. Компьютерное зрение (Computer Vision, CV). В данную категорию отнесены также работы с трехмерной геометрией — распознавание, аналитика, поиск коллизий, оптимизация;
2. Генеративный дизайн, являющийся частным случаем применения CV технологий, но выделяющийся возможностью синтеза (создания) визуального контента, в то время как классические технологии компьютерного зрения только анализируют изображения и видео;
3. Обработка естественного языка (NLP) и, в частности, большие языковые модели (LLM), которые объединяют несколько уникальных свойств: мультимодальность, генеративные функции, «понимание» естественного языка;
4. Параметрическое моделирование BIM.

Мультимодальность LLM, в частности, означает то, что модели могут работать сразу и с изображениями, и с текстами, и решают задачи, например анализа изображений и генерации текста, или построения трехмерной модели по текстовому описанию и т. д. Таким образом, большие языковые модели из перечисленных являются наиболее универсальными. Многие приложения генеративного дизайна утилизируют свойства LLM, обеспечивая пользователю возможность управлять синтезом изображений с помощью произвольных текстовых описаний или даже голосового общения [7, 8]. Но для разграничения технологий в настоящем исследовании LLM отнесены к обработке языка, а те их функции,

которые относятся к работе с визуальным рядом, рассматриваются как «генеративный дизайн».

Параметрическое моделирование BIM по сути не обязательно подразумевает применение технологий машинного обучения (искусственного интеллекта). Но, как показывает практика, эта методика является необходимым шагом для качественного построения ЦИМ. В тех случаях, когда небольшие недочеты, ошибки и несоответствия не важны, например при генерации концептуальных архитектурных, фасадных решений, эту технологию можно не применять — сразу при помощи мультимодальных моделей осуществлять целевую генерацию. Но такая генерация не ограничена соблюдением правил, норм, просто логикой конструкций и сооружений, поэтому в реальных проектировочных задачах она не применима. Для того чтобы генеративные методы работали на уровне квалифицированного специалиста, сначала создают ПО, которое может автоматически создавать цифровую модель под руководством специалиста, управляющего процессом при помощи параметров, команд, высокоуровневого псевдоязыка. Затем генерируют параметры и команды с помощью генеративных технологий. Таким образом осуществляется подход так называемых ансамблей ИИ-агентов (нейросетевых моделей, включающих генеративные), где каждый агент добросовестно выполняет свою функцию: один генерирует идеи в виде чертежей и планов, второй из них собирает трехмерную модель, третий проверяет их на ошибки, четвертый предлагает методы оптимизации модели. Работая таким образом над ЦИМ как коллектив специалистов, описанный ансамбль потенциально может достигать приемлемых результатов [9, 10].

Ниже представлено распределение технологий ИИ по классам задач по всем проанализированным в исследовании программным продуктам.

Блок подпроцессов/Технология ИИ	CV	Генеративный дизайн	Параметрическое моделирование BIM	NLP и LLM
Предпроектная работа, обследование территорий	50,00%	16,67%		33,33%
Эскизное проектирование, прототипирование	7,69%	57,69%	15,38%	19,23%
Разработка геометрической части проекта	16,67%	27,78%	33,33%	22,22%
Разработка проектной документации	22,22%			77,78%
Вся проектная работа	30,00%		40,00%	30,00%
Контроль исполнения проекта	85,71%		14,29%	

Рис. 2. Распределение технологий ИИ по классам задач. Источник: авторы исследования

Приведенная инфографика позволяет сделать следующие выводы:

1. В половине случаев предпроектная работа базируется на применении ставших распространенными и проверенными технологиями компьютерного зрения, но в половине случаев применяются новые технологии: генеративный дизайн или работа с текстовой информацией методами ИИ. В самом деле, в этой части задач проектирования крайне важна работа с исходными документами, например со сканами документов в PDF-формате: техническими отчетами по результатам инженерно-геодезических изысканий. Работа со сканированными документами, чертежами, планами предполагает использование технологий CV, а выделение из них значимой информации, смысловых блоков, оцифровка данных базируется на NLP и LLM в частности;
2. Эскизное проектирование, построение прототипов, быстрый перебор идей и вариантов дизайна, очевидно, опираются на интенсивно распространяющиеся приложения генеративного дизайна. Здесь ключевая технология отмечена более чем в 57% случаев;

3. Особая ситуация складывается с разработкой ЦИМ. Необходимо отметить вполне пропорциональное использование всего спектра рассматриваемых технологий, но в центре ожидаемо (33%) находится параметрическое моделирование;
4. В области разработки проектной документации ситуация представляется совершенно прозрачной: утилизируются генеративные свойства LLM, технологии NLP (78%) и отчасти CV для внедрения в документы графических элементов (чертежи, схемы);
5. Контроль выполнения проектных работ, как и следовало ожидать, преимущественно осуществляется с использованием технологий CV, которые позволяют автоматизировать визуальный осмотр объекта на этапах реализации проекта.

Описанная картина применения технологий ИИ по классам (около)проектных задач позволяет сформировать представление о том, какова должна быть основа и как должны развиваться программные продукты в проектной организации, которая осуществляет переход от традиционной работы с проектной документацией к цифровому проектированию с применением интеллектуальных технологий.

Карта внедрения и применения ИИ

Основываясь на приведенном выше анализе, можно описать потенциальное применение ИИ-технологий на разных стадиях работы (градо-строительного, транспортного проектирования). Ниже приведена визуализация такого применения в виде укрупненной карты.

Представленная карта и анализ процессов проектирования позволяют утверждать, что в первую очередь (пункт I) следует сформировать базу для применения технологии информационного моделирования, а именно — перевести входящую информацию в машиночитаемый и машинопонимаемый вид. Этот этап является определяющим для всех остальных видов применения технологий ИИ и, более того, для применения ТИМ.

Следом указан этап генерации концепций, дизайнов, идей планировки и т. п. Данный этап является опциональным, так как он обслуживается отдельными программными продуктами, представленными на рынке во множестве. Эти продукты не требуют интеграции в общую информационную среду. Поэтому имеются основания полагать, что ввод этого этапа в число обязательных для построения современной информационной среды не является существенно обоснованным.

В противовес естественному порядку процессов проектирования, вторым этапом (пункт II) внедрения технологий ИИ предлагается формирование результирующей документации на базе сформированной ЦИМ. Этот

этап крайне важен для облегчения перехода на цифровое проектирование и ТИМ. Если без всех остальных компонентов проектировщики могут осуществлять свою деятельность так же, как они это делают в настоящее время, то добавление дополнительного этапа перевода цифровой модели обратно в проектные доку-

менты — это новый трудоемкий этап, который станет барьером на пути освоения ТИМ. Поэтому до перехода на цифровое моделирование следует сразу обеспечить не только прямой процесс переноса информации из документов в ЦИМ, но и обратный процесс синтеза документации на базе ЦИМ.

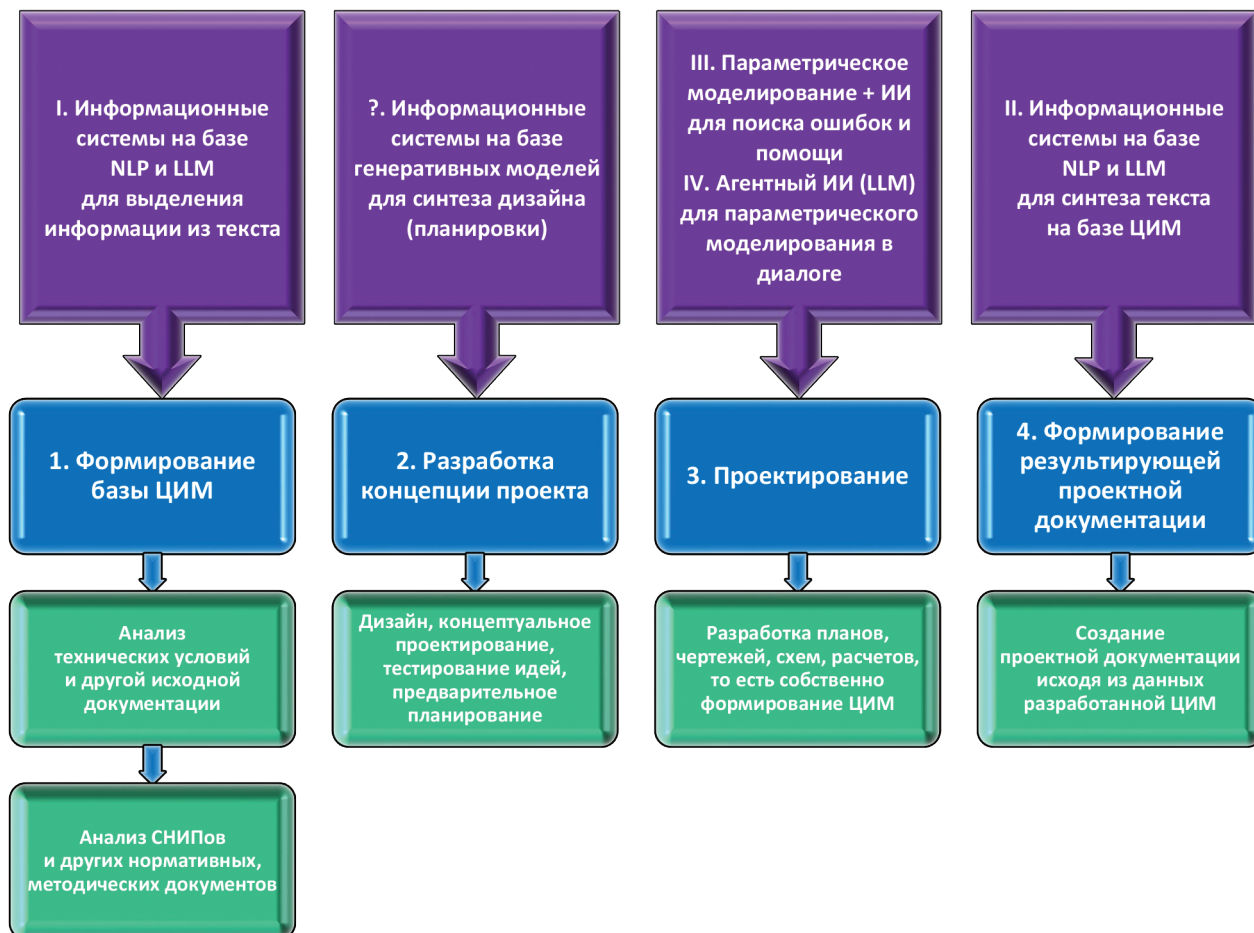


Рис. 3. Карта применения ИИ-технологий на разных стадиях работы. Источник: авторы исследования

Следующим шагом (пункт III) приведено применение технологии, которая, согласно мировой практике, обеспечивает наиболее эффективный путь к автоматизированному проектированию: переход на параметрическое проектирование. В данном случае речь идет о таком же сложном шаге, как переход от работы с отсканированной документацией к работе с ЦИМ. Однако он сразу обеспечивает выигрыш в качестве и скорости осуществляемых операций. Этот шаг может быть обеспечен

вспомогательными ИИ-технологиями, которые будут отслеживать ошибки в ЦИМ, помогать проектировщикам и т. д. [11, 12].

Наконец, завершающий этап построения информационной интеллектуальной среды цифрового проектирования (пункт IV) связан с внедрением мультиагентной системы, которая в диалоге со специалистом и с использованием технологий параметрического проектирования автоматически формирует ЦИМ, выполняя полный цикл проектных работ

Возможности применения доступных ИС на базе технологий ИИ

На этапе I (формирование базы ЦИМ при помощи технологий NLP и LLM) из наиболее доступных продуктов следует отметить *DreamDocs*³. Продукт не адаптирован имен-

но к проектной деятельности, но позволяет осуществлять интеллектуальное выделение данных из неструктурированных документов. Компания «Нанософт» представляет продукт

³ Режим доступа: <https://dreamdocs.ru/>

*NSR Specification*⁴, который предназначен для извлечения и организации информации из общероссийских нормативных документов, перевода нормативных требований в машиночитаемый и машинопонимаемый вид.

Также в случае принятия решения о разработке собственными силами может представлять интерес обращение к открытому коду программной библиотеки *Text2CAD*⁵ как к одной из попыток осуществления поставленной данным этапом задачи.

На этапе II (формирование результирующей проектной документации при помощи технологий NLP и LLM) для составления представления о возможностях современных технологий ИИ предлагается ориентироваться на доступный в России зарубежный продукт *Swapp*⁶. Все отечественные продукты данного этапа находятся в стадии разработки. Здесь стоит упомянуть «*Конструктор документов*»⁷, который специально предназначен для автоматизации проектирования организационно-технологической документации. Он уже доступен в некоторой (упрощенной, без видимых следов применения технологий ИИ) форме.

Весьма перспективной представляется система *Renga*⁸, в которой заявляется разработка функций по проверке и заполнению проектной документации. Помимо прочего, компания 1С заявляет разработке о совместного продукта «1С: Смета» и «*Renga Professional*. Комплект решений для подготовки сметной документации на основе ЦИМ». Рабочее название разработки «Интеллектуальный анализ качества сметной документации».

Возможности разработки ИС для реализации первого этапа применения ИИ

По приведенному выше обзору можно заключить, что спектр доступных решений для российских проектных организаций крайне узок. Переход отрасли к цифровому проектированию осложняется по многим причинам. Среди главных специалисты называют неготовность данных, недостаток квалифицированных кадров

Потенциально весьма перспективной представляется *Интеллектуальная система генерации проектной документации*⁹. На август 2025 года детали о сроках ее готовности и функциональности не известны.

На этапе III (параметрическое моделирование при помощи технологий ИИ) прежде всего предлагается придерживаться продуктов отечественного разработчика «Нанософт»: *nanoCAD*¹⁰ и сопутствующих модулей. В частности, «Нанософт» разрабатывает упомянутый выше модуль *NSR Specification*.

Перспективными российскими аналогами / альтернативами продуктам «Нанософт» в плане осуществления задач данного этапа являются продукты *UnitBIM*¹¹, находящиеся в разработке.

Зарубежными продуктами, доступными в России, пригодными для реализации задач данного этапа, являются *BricsCAD* (*BricsCAD BIM*)¹² и *Swapp*.

Для этапа IV (полная автоматизация проектирования: управление параметрическим моделированием при помощи агентов ИИ) в 2025 году единственной системой, которая хотя бы по описанию, реализует целевые задачи, является разработанная в Израиле и доступная в России система *Swapp*.

Таким образом, подавляющая часть этапов, кроме первого и частично второго, не покрывается функционалом существующих доступных в России систем. Соответственно, единственным выходом для проектной организации, нацеленной на внедрение интеллектуальных технологий, является планирование собственных (заказных) разработок.

и высокие затраты на внедрение технологий¹³. Все перечисленные проблемы в той или иной степени могут быть компенсированы с помощью удобного автоматизированного инструмента, способного снизить издержки данного перехода. Кроме того, как указано в приведенной выше карте внедрения и применяя ИИ, первым

⁴ Режим доступа: https://www.nanocad.ru/products/nsr_specification/

⁵ Режим доступа: <https://github.com/SadilKhan/Text2CAD>

⁶ Режим доступа: <https://swapp.ai/>

⁷ Режим доступа: <https://constructor.ppr48.ru/>

⁸ Режим доступа: <https://rengabim.com/>

⁹ Режим доступа: <https://script.engineering/>

¹⁰ Режим доступа: <https://www.nanocad.ru/>

¹¹ Режим доступа: <https://www.unitbim.ru/>

¹² Режим доступа: <https://www.bricsys.com/>

¹³ См., например, <https://cifrastroy.ru/posts/tim-v-rossii-problemy-vnedreniya-realnye-barery-i-puti-resheniya>

этапом этого пути является именно автоматизация работы с документами, инициирующими или регулирующими процесс проектирования. Поэтому в настоящем разделе в общих чертах описана разработка ПО, которое востребовано отраслью и способно помочь многим проектным организациям совершить переход к ТИМ.

Речь идет о разработке информационной системы автоматизированного извлечения с помощью технологий ИИ текстовой информации из исходных данных: неструктурированных цифровых документов, инициирующих и определяющих состав работ инженерных изысканий и инженерно-технического проектирования, и извлечение заданных блоков информации в структурированном машиночитаемом виде для дальнейшего использования в информационной среде организации. Как и другие современные средства автоматизации на основе машинного обучения, такая разработка может позволить снизить квалификационные требования к персоналу, осуществляющему повседневные несодержательные работы по обработке и подготовке информации, и повысить эффективность рабочих процессов. Вторичным показателем достижения целей работ является снижение риска и количества ошибок в проектной деятельности за счет автоматизированной трансформации данных, осуществляемых информационной системой [13, 14].

Исходные данные для проектирования поступают в виде (сканированных копий) документов, сочетающих в себе текстовую информацию, отдельные чертежи, фотографии, иногда некоторое количество цифровых параметров или

Функциональные требования

Задачи, которые должно решать описываемое программное обеспечение, позволяют сформировать базовые функциональные требования, которые могут лечь в основу технического задания на разработку системы.

Основной функциональной характеристикой разрабатываемого решения является применение технологии интеллектуальной обработки текстов на естественном языке для автоматизированной обработки массивов входящих неструктурированных или слабоструктурированных документов и извлечения из них искомой информации. При этом обнаруженная в тексте информация должна быть преобразована в структурированный машиночитаемый вид: должны быть выделены целевые информационные объекты, ссылки на объекты, числовые и другие измеримые, а также категориальные параметры, таблицы и отношения между

таблиц внутри текста и многочисленные ссылки, например на ГОСТы и другие нормативные документы, а также на литературный указатель, разделы документа и т. п. Заключение в таких документах полезная информация не структурирована, ее крайне затруднительно извлечь, обработать и проанализировать классическими алгоритмическими вычислительными методами и средствами. В исходной информации не задана жесткая (семантическая) структура исходных текстов, не зафиксированы строго текстовые формулировки, способы указания на объект или его наименования и т. п. Обработка описанных документов зачастую осуществляется вручную и почти ультимативно определяет дальнейший «ручной» процесс проектирования.

Задача первого этапа перехода к ТИМ — извлекать из исходных данных содержательную, значимую часть информации, распределять ее в структурированном виде в используемой или новой ВМ-системе так, чтобы обеспечить подготовку данных для цифрового проектирования. Решаемая задача автоматической обработки текстов относится к стеку технологий Natural Language Processing (NLP) и в общем виде может быть отнесена к задачам Text Mining или извлечения информации (Information Extraction). Кроме того, для максимальной адаптации к отраслевой специфике необходимо применение технологий искусственного интеллекта (машинного обучения) [15, 16]. С помощью технологий интеллектуальной языковой обработки требуется осуществлять валидацию и извлечение информации из текста, определяемого исходными данными для осуществления проектирования.

объектами в виде, пригодном для дальнейшей автоматической обработки (статистической обработки, визуализации, поиска закономерностей в данных и др.). Таким образом, разрабатываемое программное решение должно осуществлять в исходных документах выделение фрагментов, содержащих релевантную информацию, извлечение этой информации с одновременным приведением к определенному формату (например, преобразование произвольных текстовых описаний даты к числовому виду), и преобразование данных в реляционную форму. Решение должно опираться на априорное знание о составе и содержании исходных файлов, локального контекста текстовых областей в этих файлах, специальных объектов в составе файлов (иллюстраций, таблиц), и на наборы данных для обучения моделей искусственного интеллекта, построенные специ-

ально для предметной (семантической) области.

Указанные действия должны осуществляться в автоматическом режиме (без участия оператора) в полном цикле, от запуска программы с указанием входных данных до формирования набора выходных данных:

1. Разрабатываемая ИС должна работать с определенными типами текстовых документов (исходных данных), перечень которых определяется пользователями системы. Каждый тип документа содержит свой (заранее определенный) набор смысловых блоков, которые необходимо из документа извлечь. Структура документа не зафиксирована, но смысловые блоки определяются интеллектуальным семантическим анализом.
2. Разрабатываемое решение должно сопровождать извлечение информации характеристикой, показывающей, с какой долей уверенности выявлен смысловой блок, и зафиксировать такую характеристику в промежуточных результатах обработки (сегментации, аннотации) исходных файлов.
3. ИС должна осуществлять извлечение и трансформацию смысловых блоков в соответствии с логикой обработки данных, которая заложена в правила, шаблоны, логики, конфигурационные файлы (для логических правил), наборы данных, используемых для обучения моделей ИИ (для нейросетевых моделей), или иные вторичные компоненты информационной системы.

Требования к структуре и функциям

Для обеспечения возможности конфигурирования ИС в широких пределах (в смысле изменения потоков извлекаемой информации), разрабатываемое решение должно быть создано на базе модульной архитектуры, где каждый этап обработки информации осуществляется отдельным модулем. Каждый модуль (например, модуль, осуществляющий определение структуры и предварительную разметку / разбивку документа на секции) должен действовать отдельно и независимо от других и иметь свои настроечные параметры.

Каждый модуль в составе программного решения должен производить разметку, выделение информационных блоков, их преобразование таким образом, чтобы данный процесс мог быть прерван или запущен повторно в любой момент без существенной потери информации. В качестве такой системы поэтапной обработки документов может использоваться аннотирование, формирование промежуточных информационных слоев или иная релевантная технология. Протообразом структуры является использование следующих независимых программных модулей:

- модуль обучения, дообучения моделей в составе ИС;
- модуль загрузки исходных данных и извлечения смысловых блоков информации из них;

– модуль преобразования и записи извлеченной информации.

Одним из важнейших является следующее функциональное требование: правила извлечения, проверки, трансформации данных, которые осуществляются с помощью ИС, должны являться дополняемыми и изменяемыми без перестройки (перепрограммирования) системы. Данное требование определяет горизонтальную масштабируемость разрабатываемого решения без привлечения разработчиков. Указанное требование реализуется за счет использования некомпilierуемых компонентов в составе системы: правил, шаблонов, логик, конфигурационных файлов (для логических правил), наборов данных, используемых для обучения моделей ИИ (для нейросетевых моделей) или иных вторичных компонентов информационной системы.

Наиболее релевантным представляется функционирование ИС по принципу проектов обработки данных. Один проект характеризуется набором исходных файлов, а завершение обработки означает формирование выходных данных. В рамках проекта модули (этапы обработки) информации могут запускаться оператором неограниченное количество раз для достижения требуемого результата.

Требования к функциям вторичных компонентов информационной системы, их назначение и основные характеристики

Подходы к обработке естественного языка в составе разрабатываемого решения должны не только включать в себя средства общего лингвистического анализа, но и предметно-специфические методы для распознавания текстовых фрагментов, выделения сущностей

и другой семантической обработки. Для использования предметных знаний соответствующие модули программы должны обращаться к специально собранным отраслевым наборам данных (в частности, такие наборы должны использоваться для обучения, дообучения моделей

ИИ). Таким образом, за счет предварительно созданной базы (наборов) предметных знаний должен осуществляться синтактико-семантический анализ именно в специфической области, с опорой на специальные термины, языковые конструкции и т. д. При этом априорные знания о предметной области вообще и конкретных смысловых единицах, информационных блоках, извлекаемых решением, в частности, должны расширяться по мере применения программного обеспечения к новым исходным данным. Описанным образом должно быть обеспечено автоматизированное расширение специальной онтологической информации, которая фиксируется в виде отраслевых наборов данных, за счет перерабатываемых программным решением текстовых данных.

Компонентами решения, доступными к дальнейшей адаптации, уточнению, развитию, расширению без осуществления полного комплекса действий по разработке программного решения должны являться:

Требования качества (показатели назначения)

Метрики для оценки качества работы разрабатываемой системы, очевидно, должны опираться на факты правильной или неправильной обработки данных. Отдельным таким событием является или распознавание типа исходного файла (документа), или извлечение одного экземпляра смыслового блока. Для оценки качества работы решения во время тестирования подсчитываются корректные и некорректные действия и по соответствующим формулам производится объективная оценка качества работы. При этом некорректным считается в том числе и несовершенное действие (не извлечение смыслового блока при том, что он присутствует в исходном документе).

Представляется уместным применение типичных метрик машинного обучения для задач

1. Наборы знаний (контекстные наборы) для обучения моделей машинного обучения.
2. Правила извлечения информации.
3. Правила форматирования (трансформации) извлекаемой информации.

Указанные правила должны описываться специализированным верхнеуровневым формальным псевдоязыком или другими способами представления управляющих команд, например — таблицами, параметрами процессов и т. п. Для задания правил извлечения и форматирования информации может быть использован CPSL (Common Pattern Specification Language) или другой механизм, обеспечивающий выполнение описываемых задач.

После подтверждения завершения отдельного проекта обработки данных ИС должна в автоматическом режиме сформировать пополнение наборов знаний для дальнейшего проведения дообучения моделей, тем самым реализуя автоматическое дообучение интеллектуального решения.

классификации:

- *Точность (Precision)* — отношение распознанных правильных объектов (true positive) к общему количеству распознанных объектов (true positive + false positive) $P = TP / (TP + FP)$;
- *Полнота (Recall)* — отношение распознанных правильных объектов (true positive) к общему количеству объектов, которые можно было распознать (true positive + false negative) $R = TP / (TP + FN)$;
- *F-мера* — соотношение между P и R.

Опираясь на средние показатели работы квалифицированного специалиста, можно утверждать, что рекомендуемое качество работы ИС извлечения информации, оцениваемое как F-мера, не должно быть ниже 85% (0,85).

Оценка показателей эффективности перехода на ИИ для проектной организации

Перестроение ключевых процессов, определяющих деятельность любой организации, всегда определяется балансом затрат ресурсов на такую трансформацию и повышением эффективности производимых организацией работ. Тем более это утверждение верно, когда речь идет не только о смене инструментов, но и о принципиальной замене и процессов, и (квалификации) основных исполнителей, и самой структуры производимых работ, как это происходит в случае перевода проектных организаций с традиционного на цифровое

проектирование и использование технологий информационного моделирования. Новые требования к инфраструктуре, данным, персоналу, процессному и операционному управлению — все эти компоненты являются тормозящими факторами на пути описываемой трансформации. Соответственно, крайне актуальным представляется вопрос о показателях баланса затрат и повышения эффективности на разных стадиях описанной системной трансформации.

В настоящее время в российской научной и отраслевой литературе не представлена методология

оценки баланса между затратами на разработку и внедрение решений на базе ИИ и повышением эффективности процессов проектирования. В настоящем разделе предпринята попытка восполнить указанный пробел.

Следует сразу отметить, что названный баланс отличается на разных этапах применения и развития интеллектуальных технологий в составе процессов проектирования. Предлагаемая мето-

Повышение эффективности работы

Проведенное исследование процессов проектирования позволяет сформировать представление, что *повышение эффективности работы* характеризуется следующими подкомпонентами:

- снижение трудоемкости рутинных, непроизводительных задач;
- повышение вариативности (качества) исполнения творческих, нетривиальных задач;
- снижение количества ошибок, совершаемых специалистами, за счет ИИ автоматизации.

Таким образом, приведенная ниже оценка повышения эффективности работы составлена путем обследования информационных потоков и данных, используемых в проектировании, анализа процессов разработки транспортных, городских проектов, интервьюирования экспертов и ключевых специалистов, имеет экспертный характер и комплексную природу. В ходе указанных мероприятий произведено выделение и оценка *трудоемкости рутинных нетворческих задач*. Также по результатам проведенного исследования применяемых в отраслевых информационных системах компонент и технологий искусственного интеллекта произведена экспертная оценка *степени повышения вариативности* при использовании генеративных возможностей интеллектуальных

Трудозатраты внедрения

Показатель трудозатраты внедрения и поддержки ИС с применением ИИ состоит из следующих подкомпонент:

- трудозатраты ИТ-специалистов, *развертывающих и поддерживающих ИС*;
- трудозатраты проектировщиков на *освоение новых систем*;
- трудозатраты проектировщиков на *процесс перехода* с существующих процессов на использование новых информационных систем.

Трудозатраты на *развертывание и поддержку системы* являются простой оценкой, измеряемой в человеко-часах, и зависят скорее от класса исполнения и масштаба внедряемых информационных систем, чем от их функциональности. При этом повышение квалифика-

дика расчета интегральной оценка описываемого баланса состоит из трех компонент:

- повышение эффективности работы (всего цикла проектирования);
- трудозатраты внедрения и поддержки ИС с применением ИИ;
- стоимость проприетарного ПО или затраты на собственную разработку.

технологий. Наконец, компонента «*снижение количества ошибок*» является оценкой, основанной на средних показателях достоверности, вырабатываемых интеллектуальными системами решений. Основанная на теоретически достижимых возможностях разных технологий ИИ и практических показателях (количестве ошибок) имплементаций этих технологий в различных приложениях, на различных этапах проектирования и смежных областях, данная оценка отражает количество ошибочных результатов деятельности ИИ-систем по отношению к общему количеству производимых ими результатов.

Показатель «**Повышение эффективности работы**» принимает значения от 0 до 10.

Значение оценки 0 соответствует полному отсутствию повышения эффективности. Оценка 10 означает замену работы команды профильных специалистов автоматизированными процессами, осуществляемыми под руководством одного квалифицированного специалиста преимущественно информационными интеллектуальными системами, в том числе (мульти-) агентными системами ИИ.

ции ИТ-специалистов в сфере ИИ-технологий и расширение их компетенций на поддержку и внедрение ИИ-систем соответствует современным требованиям и является необходимым в соответствии с вызовами настоящего момента.

Также и обучение цифровому моделированию и применению инструментов на базе ИИ профильными специалистами, которое гарантирует *освоение новых систем*, неизбежно в рамках реализации стратегии РФ на тотальную цифровизацию, автоматизацию и внедрение интеллектуальных технологий.

В то же время из приведенных компонент трудозатраты специалистов (особенно — профильных специалистов, проектировщиков) на осуществление *процесса перехода* на новые системы являются нецелесообразными и требуют по возможности минимизации. Соответственно, все сформированные далее предложения исходят из той посылки, что профильные специалисты (проектировщики) несут минимальную дополнительную нагрузку при внедрении новых интеллектуальных систем. Такая концепция позволяет осуществлять внедрение новых систем макси-

мально без рисков («бесшовно» по отношению к налаженным в организации процессам) и минимизировать соответствующие трудозатраты.

Показатель «Трудозатраты внедрения и поддержки» принимает значения от 0 до 5.

Значение оценки 0 соответствует полному отсутствию трудозатрат любых специалистов (и на практике недостижимо). Оценка 5 означает 60 человеко-месяцев суммарных трудозатрат (один год работы пяти специалистов).

Стоимость программного обеспечения

Показатель стоимости программного обеспечения, реализующего соответствующий этап дорожной карты, оценивается в двух вариантах: затраты на приобретение проприетарного ПО (лицензии на его использование на 5+ лет, рассчитанной на количество пользователей, необходимых для деятельности организации), или затраты на собственную разработку. Первый вариант предполагает ограниченные права организации на доработку и выходящую за лицензионный период эксплуатацию системы. Такие ограниченные права провоцируют риски необходимости приобретения новых систем или недостаточного качества развития уже приобретенных. Собственная разработка более финансово затратна на первых этапах и несет в себе риски срыва сроков реализации дорожной карты интеллектуальной информатизации процессов проектирования. Однако она экономически эффективна в долгосрочной перспективе и нивелирует будущие риски. Собственная разработка позволяет развивать созданные решения без ограничений, постоянно поддерживая соответствие современным трендам и достижениям в части интеллектуальных технологий.

Если не принимать во внимание указанные риски и преимущества, имеющие различную природу и по-разному распределенные в приведенных

вариантах, стоимость собственной разработки на начало 2025 года сравнима со стоимостью приобретения лицензии ИС сопоставимого класса на 5+ лет (в рамках обсуждаемых и указанных в дорожной карте задач). Таким образом, данный показатель оценивается следующим образом:

Показатель «Стоимость ПО» принимает значения от 0 до 5.

Значение оценки 0 соответствует полному отсутствию затрат на приобретение или разработку ПО (и на практике является нереализуемым). Оценка 5 соответствует сумме в 50 миллионов рублей по ценам первого квартала 2025 года.

Интегральная оценка баланса

Суммарно показатель баланса ввода ИС на базе технологий ИИ в процессы проектирования определяется по следующей формуле:

$$\text{ИОБ} = \frac{\text{ПЭР}}{\text{ТВ} + \text{СтПО}}$$

где

ИОБ — интегральная оценка баланса,

ПЭР — повышение эффективности работы,

ТВ — трудозатраты внедрения,

СтПО — стоимость программного обеспечения.

Результаты и обсуждение

Оценка баланса эффективности и затрат на внедрение ИИ-решений на разных этапах

В настоящем разделе на базе вышеприведенной карты внедрения и применения ИИ в процессы проектирования построена типовая дорожная карта соответствующих задач, целей, мероприятий проектной организации. Она предназначена для оценки баланса эффективности

и затрат на внедрение ИИ в отношении изменения схемы информатизации процессов проектирования путем включения в эти процессы компонент и информационных систем на базе технологий искусственного интеллекта.

Таблица 1

Дорожная карта внедрения и применения ИИ, рассчитанная на период до 2029–2030 годов

I	Подготовительный этап		Длительность	1 год
	Цель	Первичное тестирование отдельных технологий ИИ в применении к процессам проектирования		
	Задача	Тестирование первых подходов к оцифровке и аналитической обработке данных, используемых в проектировании, в полностью автоматическом режиме	Способ достижения	– разработка и экспериментальное внедрение программного решения, обеспечивающего автоматизированное извлечение структурированных машиночитаемых данных из проектной документации пилотной категории объектов, в формате, пригодном для интеграции с системами информационного моделирования; – по результатам тестирования указанного решения — разработка функциональных требований к полномасштабному продукту извлечения структурированных машиночитаемых данных; – разработка функциональных требований к информационной системе автоматизированного формирования проектной документации; – разработка и согласование плана методико-организационных действий по обеспечению перехода организации на цифровое проектирование (ТИМ); – разработка программы развития информационной среды организации (информационных потоков, программных средств хранения и обработки информации) в части использования, разработки, внедрения, поддержки использования информационных систем, утилизирующих технологии ИИ; – разработка и согласование программы закупки или разработки дополнительного ПО согласно указанным в настоящей дорожной карте этапам (в части формирования бюджетов, организационно-правового обеспечения соответствующих действий); – разработка методики и программы оцифровки имеющихся (исторических) данных проектирования для обеспечения перевода всех имеющихся в организации данных в цифровой машиночитаемый вид, в том числе для обеспечения дальнейшего обучения нейросетевых моделей.
	Внедренные продукты на базе ИИ		Первая версия ПО извлечения машиночитаемой информации	
	Повышение эффективности работы		0,5	Интегральная оценка баланса 0,5
	Трудозатраты внедрения		0,5	
	Стоимость ПО		0,5	
II	Документы-ЦИМ и ЦИМ-документы		Длительность	1 год
	Цель	Формирование средств для обеспечения перехода на ТИМ (ЦИМ)		
	Задача	Обеспечить автоматизацию формирования данных для ЦИМ и решение обратной задачи: автоматизация формирования результирующей проектной документации по ЦИМ	Способ достижения	– разработка/приобретение программного продукта для перевода данных из исходных документов в машиночитаемый вид и импорта в среду формирования ЦИМ; – опытная эксплуатация ПО путем перевода всех исторических данных (выполненных проектов) организации в цифровой вид; – по результатам опытной эксплуатации — формирование наборов данных ЦИМ для дальнейшего использования (обучения) инструментов ИИ; – разработка/приобретение программного продукта для автоматического формирования результирующей проектной документации по ЦИМ; – отработка качества формирования документации на исторических данных (сравнение автоматически созданных результирующих документов и созданных вручную специалистами, оценка качества, повышение качества продукта путем его доработки).

			Способ достижения	По результатам внедрения и апробации на исторических данных разработанных программных средств, позволяющих создавать ЦИМ и создавать документы из ЦИМ: – старт выполнения плана методических и организационных действий по обеспечению перехода организации на цифровое проектирование (ТИМ); – разработка плана адаптации (расширения) вычислительной инфраструктуры организации к масштабной эксплуатации систем с использованием технологий ИИ.
	Внедренные продукты на базе ИИ		1. ПО автоподготовки данных для ЦИМ 2. ПО автоформирования проектных документов по ЦИМ	
	Повышение эффективности работы	2,5	Интегральная оценка баланса	0,71
	Трудозатраты внедрения	1		
	Стоимость ПО	2,5		
III	Полный переход на ЦИМ		Длительность	1,5–2 года
	Цель	Полный переход на ЦИМ (ТИМ) ¹⁴		
	Задача	Методическая и информационная поддержка перехода профильных специалистов на ЦИМ, максимальное снижение трудозатрат на освоение ЦИМ, повышение эффективности работы в рамках ТИМ	Способ достижения	– разработка методических материалов для профильных специалистов (проектировщиков) для обеспечения освоения разработанных на этапе программных средств; – разработка программы дополнительного обучения (и других способов обеспечения соответствующий требованиям времени квалификации) сотрудников организации в части интеллектуальных технологий. Оценка внедренных решений (для доработки в целях повышения эффективности) по следующим параметрам: – ошибок и трудоемкость на этапе извлечения исходной информации; – количество ошибок и трудоемкость на этапе при формировании результирующих проектных документов. Кроме того, для повышения эффективности сотрудников с ЦИМ: – разработка/приобретение программного продукта перевода нормативных и иных отраслевых требований в машиночитаемый вид и встраивание этих требований в информационную среду ТИМ; – разработка/приобретение программного продукта параметрического проектирования ЦИМ.
	Внедренные продукты на базе ИИ		1. ПО для перевода нормативных отраслевых требований в машиночитаемый вид 2. ПО параметрического проектирования ЦИМ	
	Повышение эффективности работы	5	Интегральная оценка баланса	1
	Трудозатраты внедрения	2		
	Стоимость ПО	3		

¹⁴ Примечания:

1. В отличие от стандартных методов цифровизации использование автоматизированных средств не требует от сотрудников дополнительных усилий для перехода на ЦИМ. В рамках этапов следует только осуществить обучение работе в информационной среде ЦИМ. Также вследствие готовности соответствующих средств автоматизации не понадобится прикладывать усилия к обратному переводу ЦИМ в документы.
2. Тренд и стратегия развития государства безусловно определяют переход на ТИМ. Если к моменту исполнения настоящего этапа организации, принимающие результаты проектирования (заказчики работ), уже осуществляют переход на ТИМ, все средства для интеграции с их ИС на данном этапе уже будут готовы.

IV	Автоматизированный ЦИМ с интеллектуальными помощниками		Длительность	2–2,5 года
	Цель	Обеспечение интеллектуальными технологиями полного цикла проектирования ¹⁵		
	Задача	Сопровождение интеллектуальными помощниками задач проектирования, в том числе проектирование с использованием диалога на естественном языке	Способ достижения	– разработка/приобретение программного продукта параметрического проектирования, дополненного функциями ИИ: генерация (автоматическое создание схем и чертежей в диалоге); – разработка/приобретение программного продукта параметрического проектирования, дополненного функциями ИИ: проверка ошибок в проекте (ЦИМ), включая геометрические, смысловые, ошибки формирования документации и т. д.
	Внедренные продукты на базе ИИ		1. ПО диалоговой генерации ЦИМ 2. ПО автопроверки проектных ошибок	
	Повышение эффективности работы		7	Интегральная оценка баланса 1,17
	Трудозатраты внедрения		2,5	
	Стоимость ПО		3,5	

Из приведенной дорожной карты следует, что оценка баланса по применению технологий ИИ в процессах проектирования повышается («становится лучше») на поздних этапах. Это соответствует естественному положению вещей, так как интеллектуальные технологии требуют предварительной масштабной подготовки и обработки данных и информационной среды в целом, а наибольшую эффективность показывают на оптимизации totally автоматизированных

Заключение

В настоящей статье сформированы предложения по последовательному внедрению интеллектуальных технологий в проектную деятельность, параллельно с переходом на информационное (автоматизированное) моделирование.

Саму постановку задачи определяют общегосударственные тренды, в том числе затрагивающие и городское, транспортное проектирование. Так, в 2019 году Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (в редакции Указа Президента РФ от 15.02.2024 № 124) поставлена задача разработки федерального проекта и соответствующей дорожной карты, определяющих будущее применения технологий искусственного интеллекта в строительстве. Подразумевается не только повышение качества работ в строительной отрасли за счет автоматизированного обнаружения ошибок, но и использование искусственного интеллекта для повышения качества архитектурного

процессов и полностью оцифрованных (машинно-читаемых и машинопонимаемых) данных.

В то же время с возрастанием эффективности внедренных технологий (от 0,5 на начальном этапе до 7 на финальном) возрастает и объем необходимых вложений в интеллектуальные технологии (от 5 млн рублей в год на начальном этапе до 35 млн рублей на финальном) и сопутствующих трудозатрат внедрения.

планирования. Ключевым фактором в строительной индустрии в Российской Федерации определена инновационная трансформация отрасли, включающая в себя использование программных продуктов на технологиях искусственного интеллекта. Более того, дорожная карта федерального проекта «Искусственный интеллект» определяет проектирование и дизайн как целевые сферы применения машинных алгоритмов ИИ и систем машинного обучения в строительстве.

Таким образом, стратегией цифрового развития Российской Федерации предопределено в том числе и направление совершенствования процессов проектирования в части полного перехода на цифровые модели, работы с данными вместо неформализуемой, неточной информацией, полная прозрачность и управляемость автоматизированных процессов.

Описанный в статье процесс носит комплексный и долгосрочный характер. Предложенные преобразования информационного ландшафта

¹⁵ Примечания:

1. На данном этапе доступно применение полноформатное применение технологий ИИ, полностью меняющего процесс проектирования. Проектирование осуществляется автоматически путем диалога специалиста и интеллектуального ассистента на естественном языке.

2. Существенное повышение качества и снижение трудоемкости работы может быть осуществлено за счет применения ПО на базе ИИ, которое позволяет проводить автоматизированный анализ ЦИМ на предмет нарушений, а также автоматизированную коррекцию, дополнение проектных решений

проектной организации относятся ко всем блокам работы над проектами: работы с исходной документацией, автоматизации построения ЦИМ, поиска ошибок и автоматизации информационных моделей, формирования всей сопроводительной проектной документации. Предложенная методология оценки баланса между затратами на внедрение продуктов на базе технологий ИИ в проектную деятельность и повышением эффективности этой деятельности позволяет прогнозировать, что баланс становится нейтральным после полного перехода на ТИМ, что для организации, стартовой в 2025 году с традиционного осуществления проектной деятельности, составит ориентировочно 3–3,5 года. Существенный положительный баланс ожидается после внедрения систем на базе ансамблей агентов ИИ, которые принципиально изменят структуру и содержание рассматриваемых работ, что ожидается не ранее 2030 года. К сожалению, не представляется возможным избежать первых затратных этапов перехода к цифровой проектной деятельности, а именно: перевода данных в машинопонимаемый вид, подготовки вычислительной инфраструктуры, закупки/разработки интеллектуального ПО, дообучения (изменения квалификации) работников организации. На начальных этапах, которые занимают по разным оценкам не менее трех лет, эффективность работы проектной организации возрастет незначительно по сравнению с существенными вложениями ресурсов в процесс модернизации. Можно предположить, что это обстоятельство и определяет запаздывающее отставание отрасли на пути цифровой трансформации и внедрения технологий ИИ.

мых работ, что ожидается не ранее 2030 года. К сожалению, не представляется возможным избежать первых затратных этапов перехода к цифровой проектной деятельности, а именно: перевода данных в машинопонимаемый вид, подготовки вычислительной инфраструктуры, закупки/разработки интеллектуального ПО, дообучения (изменения квалификации) работников организации. На начальных этапах, которые занимают по разным оценкам не менее трех лет, эффективность работы проектной организации возрастет незначительно по сравнению с существенными вложениями ресурсов в процесс модернизации. Можно предположить, что это обстоятельство и определяет запаздывающее отставание отрасли на пути цифровой трансформации и внедрения технологий ИИ.

Список литературы

1. Xiao J., Xu Z., Xiao A., Wang X., Skare M. Overcoming barriers and seizing opportunities in the innovative adoption of next-generation digital technologies // *Journal of Innovation & Knowledge*. — 2024. — Vol. 9, № 4. — Article 100622. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100622>.
2. Liu W. Overcoming barriers to intelligent technology adoption in interior design: An analytical framework of facilitative pathways // *Pacific International Journal*. — 2025. — Vol. 8. — С. 7–11. — DOI: <https://doi.org/10.55014/pij.v8i3.816>.
3. Лебедев С. А., Красноженов Г. Г., Белова Н. С. Анализ опыта использования технологий искусственного интеллекта в транспортном проектировании и смежных отраслях // *Московский транспорт. Наука и проектирование*. — 2025. — № 2. — С. 69–87.
4. Naveed H., Khan A., Qiu S., Saqib M., Anwar S., Usman M., Barnes N., Mian A. A comprehensive overview of large language models. — 2023. — DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.06435>.
5. Национальный индекс развития цифровой экономики: пилотная реализация / рук. С. Б. Шапошник; науч. ред. Т. В. Ершова, Ю. Е. Хохлов, С. Б. Шапошник. — М.: Госкорпорация «Росатом», 2018. — 176 с.
6. Ochara N. M., Nawa E. T., Fiodorov I., Lebedev S., Sotnikov A., Kadyamatimba A., Telnov Y. Digital transformation of enterprises: a transition using process modelling antecedents // *Proceedings of the 2018 Open Innovations Conference* / ed. by C. Ouma. — Johannesburg: IEEE, 2018. — С. 325–331. — DOI: <https://doi.org/10.1109/OI.2018.8535735>.
7. Ciric D. New generative and AI design methods for transportation systems and urban mobility design, planning, operation, and analysis: Contribution to urban computing theory and methodology. — 2024. — DOI: https://doi.org/10.18485/arh_pt.2024.8.ch59.
8. Othengrafen F., Sievers L., Reinecke E. From vision to reality: The use of artificial intelligence in different urban planning phases // *Urban Planning*. — 2024. — Vol. 10. — DOI: <https://doi.org/10.17645/up.8576>.
9. Wang T., Yorke-Smith N. Introduction: AI for and in urban planning // *Urban Planning*. — 2025. — Vol. 10. — Article 9417. — DOI: <https://doi.org/10.17645/up.9417>.
10. Horvath A. — S., Pouliou P. AI for conceptual architecture: Reflections on designing with text-to-text, text-to-image, and image-to-image generators // *Frontiers of Architectural Research*. — 2024. — Vol. 13, № 3. — С. 593–612. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.02.006>.
11. Han S., Jiang Y., Huang Y., Wang M., Bai Y., Spool-White A. Scan2Drawing: Use of deep learning for as-built model landscape architecture // *Journal of Construction Engineering and Management*. — 2023. — Vol. 149, № 5. — DOI: <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13077>.
12. Хританков А. С., Полежаев В. А., Жуликов Г. А., Галынчик М. С., Климин Н. А., Сахаров К. Е., Минченков В. О., Спирин И. В.,

Крупнов И. И., Якушева С. Ф., Маратканова А. С., Козырев В. И., Костенецкий П. С., Салех Х. М. Выполнение распределенных вычислительных экспериментов на MLOps платформе НИУ ВШЭ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. — 2025. — Т. 14, № 2. — С. 42–66. — DOI: <https://doi.org/10.14529/cmse250203>.

13. Khritankov A., Pershin N., Ukhov N., Ukhov A. MLDev: Data science experiment automation and reproducibility software // Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. 23rd International Conference, DAMDID/RCDL 2021, Moscow, Russia, October 26–29, 2021, Revised Selected Papers / ed. by A. Pozanenko, S. Stupnikov, B. Thalheim, E. Mendez, N. Kiselyova. — Cham: Springer, 2022. — С. 3–18. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-12285-9_1.

14. Gromov V.A., Borodin N.S., Yerbolova A.S. A language and its dimensions: Intrinsic dimensions of language fractal structures // Complexity. — 2024. — Vol. 2024, № 1. — Article 8863360. — DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/8863360>.

15. Kim F.C., Johanes M., Huang J. Text2form diffusion: Framework for learning curated architectural vocabulary // 41st Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2023. — 2023. — С. 79–88. — DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.079>.

16. Liao W., Huang Y., Zheng Z., Lu X. Intelligent generative structural design method for shear wall building based on “fused-text-image-to-image” generative adversarial networks // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 210. — Article 118530. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118530>.

References

1. Xiao J., Xu Z., Xiao A., Wang X., Skare M. Overcoming barriers and seizing opportunities in the innovative adoption of next-generation digital technologies // Journal of Innovation & Knowledge. — 2024. — Vol. 9, № 4. — Article 100622. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100622>.

2. Liu W. Overcoming barriers to intelligent technology adoption in interior design: An analytical framework of facilitative pathways // Pacific International Journal. — 2025. — Vol. 8. — P. 7–11. — DOI: <https://doi.org/10.55014/pij.v8i3.816>.

3. Lebedev S.A. Analiz opyta ispol'zovaniya tekhnologii iskusstvennogo intellekta v transportnom proektirovanii i smezhnykh otraslyakh [Analysis of experience in using artificial intelligence technologies in transport design and related industries] / S.A. Lebedev, G.G. Krasnozhenov, N.S. Belova // Moskovskii transport. Nauka i proektirovanie. — 2025. — № 2. — P. 69–87.

4. Naveed H., Khan A., Qiu S., Saqib M., Anwar S., Usman M., Barnes N., Mian A. A comprehensive overview of large language models. — 2023. — DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.06435>.

5. Shaposhnik S. B. Natsional'nyi indeks razvitiya tsifrovoy ekonomiki: pilotnaya realizatsiya [National index of digital economy development: pilot implementation] / ed. S.B. Shaposhnik; sci. ed. T.V. Ershova, Yu.E. Khokhlov, S.B. Shaposhnik. — Moscow: Goskorporatsiya «Rosatom», 2018. — 176 p.

6. Ochara N.M., Nawa E.T., Fiodorov I., Lebedev S., Sotnikov A., Kadyamatimba A., Telnov Y. Digital transformation of enterprises:

a transition using process modelling antecedents // Proceedings of the 2018 Open Innovations Conference / ed. by C. Ouma. — Johannesburg: IEEE, 2018. — P. 325–331. — DOI: <https://doi.org/10.1109/OI.2018.8535735>.

7. Ciric D. New generative and AI design methods for transportation systems and urban mobility design, planning, operation, and analysis: Contribution to urban computing theory and methodology. — 2024. — DOI: https://doi.org/10.18485/arh_pt.2024.8.ch59.

8. Othengrafen F., Sievers L., Reinecke E. From vision to reality: The use of artificial intelligence in different urban planning phases // Urban Planning. — 2024. — Vol. 10. — DOI: <https://doi.org/10.17645/up.8576>.

9. Wang T., Yorke-Smith N. Introduction: AI for and in urban planning // Urban Planning. — 2025. — Vol. 10. — Article 9417. — DOI: <https://doi.org/10.17645/up.9417>.

10. Horvath A.—S., Pouliou P. AI for conceptual architecture: Reflections on designing with text-to-text, text-to-image, and image-to-image generators // Frontiers of Architectural Research. — 2024. — Vol. 13, № 3. — P. 593–612. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.02.006>.

11. Han S., Jiang Y., Huang Y., Wang M., Bai Y., Spool-White A. Scan2Drawing: Use of deep learning for as-built model landscape architecture // Journal of Construction Engineering and Management. — 2023. — Vol. 149, № 5. — DOI: <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13077>.

12. Khritankov A. S. Vypolnenie raspredelennykh vychislitel'nykh eksperimentov na MLOps platforme NIU VShE [Performing distributed computational experiments on the HSE University MLOps platform] / A. S. Khritankov, V. A. Polezhaev, G. A. Zhulikov, M. S. Galynchik, N. A. Klimin, K. E. Sakharov, V. O. Minchenkov, I. V. Spirin, I. I. Krupnov, S. F. Yakusheva, A. S. Maratkanova, V. I. Kozyrev, P. S. Kostenetskii, Kh. M. Salekh // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika. — 2025. — Vol. 14, № 2. — P. 42–66. — DOI: <https://doi.org/10.14529/cmse250203>.

13. Khritankov A., Pershin N., Ukhov N., Ukhov A. MLDev: Data science experiment automation and reproducibility software // Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. 23rd International Conference, DAMDID/RCDL 2021, Moscow, Russia, October 26–29, 2021, Revised Selected Papers / ed. by A. Pozanenko, S. Stupnikov,

B. Thalheim, E. Mendez, N. Kiselyova. — Cham: Springer, 2022. — P. 3–18. — DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-12285-9_1.

14. Gromov V. A., Borodin N. S., Yerbolova A. S. A language and its dimensions: Intrinsic dimensions of language fractal structures // Complexity. — 2024. — Vol. 2024, № 1. — Article 8863360. — DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/8863360>.

15. Kim F. C., Johanes M., Huang J. Text2form diffusion: Framework for learning curated architectural vocabulary // 41st Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2023. — 2023. — P. 79–88. — DOI: <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.079>.

16. Liao W., Huang Y., Zheng Z., Lu X. Intelligent generative structural design method for shear wall building based on «fused-text-image-to-image» generative adversarial networks // Expert Systems with Applications. — 2022. — Vol. 210. — Article 118530. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118530>.

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Красноженов Григорий Григорьевич кандидат физико-математических наук, ведущий эксперт научно-учебной лаборатории методов анализа больших данных Института искусственного интеллекта и цифровых наук НИУ ВШЭ Адрес: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11 SPIN-код: 6813–2467 E-mail: gkrasnozhenov@hse.ru	Krasnozhenov Grigoriy Grigorievich Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D. in Mathematics/Physics), Leading Expert of the Research and Educational Laboratory for Big Data Analysis Methods, Institute for Artificial Intelligence and Digital Sciences, HSE University Address: «National Research University Higher School of Economics», 109028, Moscow, 11 Pokrovsky Bulvar SPIN-code: 6813–2467 E-mail: gkrasnozhenov@hse.ru
Лебедев Сергей Аркадьевич кандидат экономических наук руководитель департамента программной инженерии ФКН НИУ ВШЭ Адрес: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11 SPIN-код: 5995–1176 E-mail: salebedev@hse.ru	Lebedev Sergey Arkad'evich Candidate of Economic Sciences (Ph.D. in Economics), Head of the Department of Software Engineering, Faculty of Computer Science, HSE University Address: «National Research University Higher School of Economics», 109028, Moscow, 11 Pokrovsky Bulvar SPIN-code: 5995–1176 E-mail: salebedev@hse.ru

УДК 338.47:338.49

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ

О. А. Гришина*ГБУ «МосТрансПроект»***Е. В. Устюжанина***ФГБУН «Центральный экономико-математический институт»*

Аннотация. В статье исследуется роль транспортной инфраструктуры как ключевого фактора экономического роста на примере различных стран, включая Россию. Авторы анализируют исторический контекст, начиная с идей Дж. М. Кейнса о государственном вмешательстве для стимулирования экономики, и приводят примеры успешных инфраструктурных проектов, таких как план ГОЭЛРО в СССР, «Новый курс» Ф. Рузвельта в США, а также опыт Мексики, Южной Кореи и Ирландии. Особое внимание уделено современному состоянию транспортной инфраструктуры в России, где выявлены значительные отставания по плотности железнодорожных и автомобильных дорог по сравнению с другими странами. На примере Москвы показано, как развитие транспортной системы способствует росту экономики, улучшению качества жизни и снижению издержек. В заключение подчеркивается необходимость стратегического планирования и государственной поддержки инфраструктурных проектов для преодоления текущих экономических вызовов и обеспечения устойчивого развития страны.

Ключевые слова: транспортная инфраструктура, экономический рост, государственное регулирование, мультипликативный эффект, логистические издержки.

UDC 338.47:338.49

TRANSPORT INFRASTRUCTURE AS A DRIVER OF ECONOMIC DEVELOPMENT

O. A. Grishina*SBI «MosTransProject»***E. V. Ustyuzhanina***Central Economics and Mathematics Institute, RAS*

Abstract. This article examines transport infrastructure as a key economic growth driver across various countries, with particular focus on Russia. The analysis traces the historical development from Keynesian theory on government intervention for economic stimulus through successful infrastructure initiatives including the USSR's GOELRO electrification program, Roosevelt's New Deal in the United States, and development experiences in Mexico, South Korea, and Ireland. The study reveals significant infrastructure deficits in Russia, particularly in railway and highway density compared to international benchmarks. Moscow serves as a case study demonstrating how transport infrastructure development drives economic expansion, enhances living standards, and reduces operational costs. The findings underscore the critical importance of strategic planning and public investment in infrastructure projects to address contemporary economic challenges and facilitate sustainable national development.

Keywords: transport infrastructure, economic growth, government regulation, multiplier effect, logistics costs.

Введение

В течение долгого времени экономическая теория исходила из предположения, что свободное взаимодействие спроса и предложения обеспечивает эффективное распределение ресурсов (ресурсы достаются тем экономическим агентам, которые готовы заплатить за них максимальную цену), а составляющими экономического роста выступают три основных фактора: затраты физического капитала, затраты труда и достигнутый технологический уровень производства, выражающийся в общей факторной производительности [1]. По мере внедрения в рассмотрение экономической теорией социальных, психологических и природно-климатических факторов появились работы, анализирующие роль исторического наследия (сложившейся системы институтов) [2], сильной личности (диктатура) [3], природной среды [4], получения донорской помощи от более развитой страны (теория летящих гусей) [5] и др.) в обеспечении конкурентных преимуществ экономики той или иной страны.

Огромный вклад в продвижение современного понимания необходимых условий экономического роста внесли работы Дж. М. Кейнса [6], объясняющие необходимость активного вмешательства государства в экономику, а также практические решения задач стратегического развития, найденные в разных странах.

Как известно, одна из основных идей Кейнса состояла в том, что препятствием на пути экономического роста является психологическая склонность людей к сбережениям как в форме страхового запаса, так и в форме источника будущих пассивных доходов. Она выражается в том, что экономические агенты направляют на потребление не все полученные доходы (часть резервируется в виде сбережений) и проявляется тем сильнее, чем больше величина дохода, который получает экономический агент. Как результат, часть денежных средств перестает работать на экономику — спрос сокращается, а вслед за ним сокращаются и объемы противостоящего этому спросу предложения.

Именно поэтому, по мнению Кейнса, государство должно взять на себя задачу стимулирования совокупного спроса посредством создания новых рабочих мест (в частности, через систему государ-

ственных заказов), организации общественных работ, субсидирования бизнеса и домохозяйств, предоставления налогов, льгот и прочих вливаний в экономику [7].

Идеи Кейнса получили практическое воплощение в «Новом курсе» президента США Франклина Рузвельта (1933–1939 гг.), который был призван помочь стране справиться с последствиями Великой депрессии. Одним из направлений реформирования экономики стала программа общественных работ для строительства дорог, мостов, аэродромов и других объектов инфраструктуры силами безработных. Эта программа позволяла достичь одновременно нескольких целей: создавала новые рабочие места (борьба с безработицей), увеличивала совокупный спрос (вброс денег в экономику) и создавала условия для будущего развития страны посредством снижения логистических издержек и обеспечения пространственной связанности экономики.

Приведем еще один пример. Мексика сумела существенно улучшить свое экономическое положение во время Второй мировой войны. Поскольку на территории страны в это время не происходило военных действий, ее промышленность не была разрушена. Благодаря спросу на военную продукцию со стороны стран-участниц антигитлеровской коалиции Мексике удалось сделать промышленный рывок. При этом доходы, полученные от военных поставок, шли на финансирование инфраструктурных проектов — строились города, гидроэлектростанции, аэропорты, ирригационные каналы и т. д. [8].

Есть и другие примеры существенного подъема экономики за счет развития инфраструктурных проектов. Так, строительство автострад в 1950-х годах в Италии придало мощный импульс развитию туристической отрасли [9]. Южнокорейское экономическое чудо в 1960-е годы было поддержано строительством новых железных дорог и морских портов [10]. Экономический рывок Ирландии в начале 2000-х сопровождался масштабным строительством и расширением железных дорог [11]. Исследованию социально-экономических эффектов от развития транспортной инфраструктуры посвящено множество трудов и российских ученых [12–16].

Методы

Для анализа состояния транспортной инфраструктуры в России и других странах мира, а также для доказательства позитивного влияния инфраструктурных проектов в сфере транспорта

на национальные экономики авторы использовали статистические методы исследования, в том числе сравнительный анализ.

Результаты и обсуждение

Ситуация в России

Первопроходцем в вопросе подъема экономики за счет развития инфраструктуры являются не западные страны и США, а Россия, которая в XX веке начала свое возрождение (техническое и технологическое переоснащение) с реализации инфраструктурных проектов посредством принятия и осуществления плана ГОЭЛРО. План включал в себя увязку строительства электростанций с ростом потребности в потреблении электроэнергии, обусловленным развитием промышленности и транспорта. Как известно, в 1923–1924 годах

в СССР было принято 19 отраслевых программ, в том числе предусматривающих строительство дорог и железнодорожных магистралей [17].

Тем не менее, несмотря на правильный вектор развития в начале индустриализации, впоследствии развитие инфраструктурных проектов в нашей стране замедлилось. Как итог, по протяженности железных дорог Россия занимает в настоящее время третье место в мире (табл. 1), в то время как по занимаемой площади — первое, обгоняя следующую за ней Канаду в два раза.

Таблица 1

Обеспеченность стран мира железнодорожными путями

№ п/п	Страна	Протяженность (км)	Территория (тыс. км ²)	Плотность (км/тыс. км ²)
1	США	293 564	9 518,9	30,84
2	Китай	155 000	9 598,1	16,15
3	Россия	87 157	17 098,25	5,09
4	Индия	68 584	3 287,59	20,86
5	Канада	49 422	9 976,14	4,95
6	Германия	33 351	357,02	93,41
7	Аргентина	33 966	2 766,89	12,27
8	Австралия	33 168	7 686,85	4,3
9	Бразилия	29 817	8 511,96	3,50
10	Франция	27 483	547,03	50,24
11	Япония	27 311	377,84	72,28
12	Италия	24 567	301,34	81,53

Источник: рассчитано авторами на основе данных [21]

Как видно из таблицы 1, по плотности полотна в расчете на тысячу квадратных метров территории наша страна в 18 раз уступает Германии, в 16 раз — Италии, в 14,5 раза — Японии, в 6 раз — США, в 4 раза — Индии, в 3 раза — Китаю. Правда, в Канаде и Бразилии плотность еще меньше.

Еще хуже в нашей стране дело обстоит с обес-

печенностью страны автомобильными дорогами (табл. 2). Здесь Россия занимает 5-е место в мире по общей протяженности автомобильных дорог (1 580 тыс. км), но уступает по плотности практически всем развитым и активно развивающимся странам мира (0,09).

Таблица 2

Обеспеченность стран мира автомобильными дорогами

№ п/п	Страна	Протяженность (тыс. км)	Территория (тыс. км ²)	Плотность (тыс. км/тыс. км ²)
1	США	6 466	9 518,9	0,68
2	Китай	1 931	9 598,1	0,20
3	Россия	1 580	17 098,25	0,09

№ п/п	Страна	Протяженность (тыс. км)	Территория (тыс. км ²)	Плотность (тыс. км/тыс. км ²)
4	Индия	3 316	3 287,59	1,01
5	Канада	1 042	9 976,14	0,10
6	Германия	644	357	1,80
7	Испания	681	497,3	1,37
8	Австралия	813	7 686,85	0,11
9	Бразилия	1 752	8 511,96	0,21
10	Франция	952	547	1,74
11	Япония	1 197	377,8	3,17
12	Италия	488	301,3	1,62

Источник: рассчитано авторами на основе данных [20, 21, 22]

Как видим, наиболее развитой транспортной инфраструктурой (железнодорожной и автомобильной) обладают западноевропейские страны с относительно небольшой территорией (Германия, Франция, Италия), а также Япония. Страны с большой территорией (Канада, США, Китай, Австралия) демонстрируют существенно меньшую плотность железных и автомобильных дорог. К сожалению, наша страна занимает в этом рейтинге последнее место.

В Российской Федерации в 2024 году было 1 119 городов, из них 833 с численностью населения менее 50 тысяч человек и 238 с численностью населения от 50 до 250 тысяч человек¹. В этих городах проживает более четверти населения страны, при этом транспортная обеспеченность именно этих городов наиболее низкая [18]. Напомним, что в послании Федеральному Собранию в 2024 году президент страны В. В. Путин, говоря о перспективах роста экономики России, не единожды упомянул малые города².

Наряду с малой протяженностью автомобильных дорог в нашей стране проблемой является их качество. Значительная часть этих дорог построена в 1950–1960-е годы. Это преимущественно дороги с асфальтобетонным и черным покрытием. Как следствие, они имеют недостаточную прочность и значительно изношены. Правда,

в советское время множество проблем решалось с помощью малой авиации. Но после перехода на рельсы капиталистических отношений стало понятно, что это очень дорогой вариант транспортного обеспечения.

Особенно тяжелая ситуация наблюдается в восточных регионах нашей страны. Так, в Магаданской области общая протяженность автомобильных дорог общего пользования составляет 2 816 км, из них с твердым покрытием — 2 679 км. А усовершенствованное покрытие (асфальтобетонное, цементобетонное, из щебня и гравия, обработанное вяжущими материалами) имеется только на протяжении 438 км. Железнодорожный транспорт в регионе отсутствует. Около 99% ввозимых на территорию области грузов поступает через морской порт «Магадан» [19].

Такое слабое развитие общей транспортной инфраструктуры страны порождает малую связанность ее территории и очень высокие издержки перевозки грузов, что безусловно оказывает угнетающее воздействие на развитие экономики.

Однако, как известно, проблемы представляют собой не только барьеры, но и возможности осуществления нового витка развития. Как уже отмечалось, именно вложения в развитие транспортной инфраструктуры выступали драйверами экономического роста для многих стран мира.

Москва как лидер транспортного развития страны

Площадь Москвы составляет 2,6 тыс. км². Согласно официальной статистике, в 2024 году численность населения Москвы равнялась 13,2 млн человек или 9% от общей численности населения страны (146,2 млн). При этом валовый региональ-

ный продукт (ВРП) Москвы обеспечивает 21% общего объема валового внутреннего продукта (ВВП) страны. Средний возраст населения составлял в 2024 году 42,4 года, что несколько больше, чем средний показатель по России — 40,5 года.

¹ <https://xn-80apaohbc3aw9e.xn--p1ai/den-finzozh-znaniy/materialy-dlya-provedeniya-urokov-2024—2025-uchebnyj-god/>

² <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/73585>

Демографическая нагрузка на трудоспособное население (1 тыс. чел.) равнялась 725, что совпадает с общероссийской³.

Наиболее быстрыми темпами в Москве развивается строительная отрасль. Причем речь идет не только о строительстве жилья и социальной инфраструктуры, но и о развитии транспортной инфраструктуры города.

Самыми впечатляющими являются показатели развития рельсового транспорта. Если в 2010 году в Москве было 182 станции и 12 линий метро, то к 2023 году количество станций увеличилось до 430 (рост на 236%), появились еще 3 новые линии метро и 4 линии Московских центральных диаметров (МЦД). Московское центральное кольцо (МЦК)—это 31 станция, 36 пересадок, 54 км общей протяженности пути. В результате Сокольническая и Таганско-Краснопресненская линии разгрузились на 20%, а Кольцевая линия метро—на 18%⁴.

Развивалась и дорожная сеть наземного транспорта. За последние 12 лет было построено 1 200 километров новых дорог (по 100 км в год). Это Московский скоростной диаметр (МСД), Северо-западная и другие хорды. Были реконструированы все выездные магистрали из города и развязки на Московской кольцевой автодороге (МКАД).

Как результат, более чем на 20% выросла средняя скорость дорожного движения в часы пик (с 45 до 56 км/час), существенно уменьшилось количество дней с пиковой нагрузкой (9 баллов и более), на 31% сократилось количество ДТП⁵.

Развитие транспортной инфраструктуры городской агломерации генерирует множественные внешние эффекты:

- улучшение качества жизни населения за счет увеличения свободного времени, повышения

комфортности передвижения, увеличения доступности мест приложения труда и мест отдыха, сокращения смертности и инвалидности в результате ДТП;

- рост производительности труда в результате снижения транспортной усталости (уменьшения времени в пути и снижения стрессов от загруженности транспорта);
- развитие экономики как результат повышения связанности территории (ликвидации инфраструктурных ограничений), снижения транзакционных издержек и эффекта мультипликации;
- повышение эффективности экономики региона, связанное с увеличением населения агломерации в результате расширения ее границ, что порождает два эффекта—повышение доступности трудовых ресурсов и увеличение спроса на производимую продукцию в связи с расширением круга потребителей;
- повышение доходов государственного бюджета за счет развития как самой транспортной отрасли, так и смежных с ней отраслей экономики (поставщиков и потребителей).

Как результат, мы можем говорить о существенном росте внутреннего регионального продукта (ВРП) Москвы. За 5 лет он вырос на 72,7%—с 16,5 трлн руб. в 2017 году до 28,5 трлн руб. в 2022 году.

Улучшились и показатели качества жизни населения. Выросли среднедушевые денежные доходы жителей Москвы. В настоящее время они в два с лишним раза превышают общероссийские показатели: 95,5 тыс. руб. в месяц по сравнению с 44,9 тыс. руб. по всем регионам. За пять лет (с 2017 по 2022 год) они выросли в полтора раза: с 65,5 тыс. руб. до 95,5 тыс. руб.

Заключение

В настоящее время наша страна переживает тяжелый период, связанный с наложением друг на друга различного рода шоков: переформатирование производства, обусловленное сменой технологического уклада и разрывом сложившихся хозяйственных связей; ограничение доступа к мировому финансовому рынку, рынку новых технологий и рынку средств производства; отвлечение ресурсов на обслуживание специальной военной операции; высокая, имеющая двустороннюю природу инфляция—инфляция спроса и инфляция издержек.

Но и после окончания военных действий нам придется столкнуться с рядом существенных трудностей, связанных с необходимостью перевода экономики на мирные рельсы—сокращением военных заказов, падением реальных доходов населения, возвращением демобилизованных граждан. В этих условиях необходима продуманная стратегия экономического развития, в формировании и реализации которой большую роль должно играть государство.

Мировой опыт свидетельствует о том, что одним из самых эффективных инструментов

³ <http://mosag.rosstat.gov.ru/biportal/contourbi.jsp?lang=ru&solution=moscow&project=%2Fmoscow%2Fpopulation>

⁴ Программа развития транспортного комплекса Москвы до 2030 года.

⁵ Там же.

подъема экономики является реализация проектов, связанных с развитием транспортной инфраструктуры. Вложение государственных средств в соответствующие проекты повышает уровень занятости населения, стимулирует рост платежеспособного спроса (эффект мультипликации), снижает издержки взаимодействия, повышает связанность экономики.

В нашей стране имеет место очень низкий уровень обеспеченности территории транспортной инфраструктурой. Этот факт, с одной стороны, замедляет сегодняшнее развитие страны, с другой — может рассматриваться как очевидный шанс для дальнейшего развития.

Москва демонстрирует наиболее успешный пример развития транспортного обеспечения региона, который может быть взят в качестве образца для принятия соответствующих решений.

Список литературы

1. Lee M. L., Liu B. C., Wang P. Growth and Equity with Endogenous Human Capital: Taiwan's Economic Miracle Revisited // *Southern Economic Journal*. — 1994. — Vol. 61, № 2. — P. 349–364.
2. North D. C. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. — Cambridge: Cambridge University Press, 1990. — 159 p.
3. Toussaint E. South Korea: The Miracle Unmasked // *Economic and Political Weekly*. — 2006. — Vol. 41, № 39 (Sep. 30—Oct. 6). — P. 4159–4165.
4. Аджемоглу Д., Робинсон А. Почему одни страны богатые, а другие бедные. — М.: АСТ, 2020. — 672 с.
5. Валлерстайн И. После либерализма / пер. с англ. М. М. Гурвица, П. М. Кудюкина, П. В. Феденко; под ред. Б. Ю. Кагарлицкого. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 256 с.
6. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег. — М.: Гелиос АРВ, 2002. — 544 с.
7. Yang D. Recovery from the Great Depression in the United States, Britain and Germany // *Seoul Journal of Economics*. — 1995. — Vol. 8, № 1. — P. 21–61.
8. Cline H. F. *Mexico: Revolution to Evolution, 1940–1960*. — Oxford: Oxford University Press, 1962. — 292 p.
9. Gabrielli P. *Anni di novità e di grandi cose. Il boom economico fra tradizione e cambiamento*. — Bologna: Il Mulino, 2011. — 282 p.
10. Lee H., De Bary T., Ch'oe Y. *Sources of Korean Tradition. Vol. 2: From the Sixteenth to the Twentieth Centuries*. — New York: Columbia University Press, 2000. — 688 p.
11. Regional Programmes Within the National Development Plan 2000–2006. The Irish Regions Office [Electronic resource]. URL: <http://www. iro.ie/EU-NDP-2000–2006.html> (accessed: 12.05.2025).
12. Гришина О. А., Гришин А. И., Строганов И. А. Перспективный методический подход к выявлению зон с наибольшим потенциалом для развития велотранспортной инфраструктуры города // *Статистика и экономика*. — 2022. — Т. 19, № 6. — С. 10–20. — DOI: 10.21686/2500–3925–2022–6–10–20.
13. Корнилова А. Д., Бабенчук К. А. Социально-экономические эффекты от развития транспортной инфраструктуры // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. — 2021. — № 7, ч. 2. — С. 176–183. — DOI: 10.17513/vaael.1796.
14. Митрюкова К. А. Влияние транспортной инфраструктуры на социально-экономическое развитие регионов: практическая значимость и научные разногласия // *Экономика, предпринимательство и право*. — 2023. — Т. 13, № 7. — С. 2399–2412. — DOI: 10.18334/err.13.7.118352.
15. Титов В. П. Распределение ресурсов транспортной системы: подходы к анализу // *Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXIV Всерос. симп. / под ред. чл.-корр. РАН Г. Б. Клейнера*. — М.: ЦЭМИ РАН, 2023. — С. 228–233. — DOI: 10.34706/978–5–8211–0814–2-s1–44. — EDN: TOJXKU.
16. Усова Т. В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства // *Проблемы развития территорий*. — 2021. — Т. 25, № 3. — С. 7–22. — DOI: 10.15838/ptd.2021.3.113.1.
17. Устюжанина Е. В., Устюжанин В. Л. Сети создания стоимости как участники системы индикативного планирования // *Креативная экономика*. — 2024. — Т. 18, № 10. — С. 2625–2640.
18. Строганов И. А., Гришин А. И. Применение программ комплексного развития территорий и механизма ГЧП при решении проблем социально-экономического развития малых городов-исторических поселений федерального значения // *Плехановский научный бюллетень*. — 2019. — № 1 (15). — С. 144–157.
19. Магаданская область: проблемы, возможности и перспективы развития: монография / под ред. В. Л. Устюжанина. — М.: РУСАЙНС,

2020.— 176 с.

20. Транспорт в России. 2024: стат. сб.— М.: Росстат, 2024.— 100 с.

21. Таблица площадей территорий стран мира [Электронный ресурс].— URL: <https://infotables.ru/strany-i-goroda/19-tablitsa-ploshchad-territorij>

stran-mira (дата обращения: 12.05.2025).

22. 20 стран мира с наибольшей длиной автомобильных дорог [Электронный ресурс].— URL: <https://geographyofrussia.com/20-stran-mira-s-naibolshej-dlinoj-avtomobilnyx-dorog/> дата обращения: 16.06.2025).

References

1. Lee M.—L., Liu B.—C., Wang P. Growth and Equity with Endogenous Human Capital: Taiwan's Economic Miracle Revisited // Southern Economic Journal.— 1994.— Vol. 61, no. 2.

2. North D. C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance.— Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

3. Toussaint E. South Korea: The Miracle Unmasked // Economic and Political Weekly.— 2006.— Vol. 41, no. 39.— P. 4269–4275.

4. Adzhemoglu D., Robinson A. Pochemu odni strany bogatye, a drugie bednye [Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty].— Moscow: AST, 2020.— 672 p.

5. Vallerstain I. Posle liberalizma [After Liberalism].— Moscow: Editorial URSS, 2003.— 256 p.

6. Keins Dzh. M. Obshchaya teoriya zanyatosti, protsenta i deneg [The General Theory of Employment, Interest and Money].— Moscow: Gelios ARV, 2002.— 544 p.

7. Yang D. Recovery from the Great Depression in the United States, Britain and Germany // Seoul Journal of Economics.— 1995.— Vol. 8, no. 1.

8. Cline H. F. Mexico: Revolution to Evolution, 1940–1960.— Oxford: Oxford University Press, 1962.

9. Gabrielli P. Anni di novità e di grandi cose. Il boom economico fra tradizione e cambiamento.— Bologna: Il Mulino, 2011.

10. Lee H. Peter, de Bary Wm. Theodore, Ch'oe Yongho. Sources of Korean Tradition. Vol. 2: From the Sixteenth to the Twentieth Centuries.— [Б. м.]: Columbia University Press, 2000.

11. Regional Programmes Within the National Development Plan 2000–2006. The Irish Regions Office [Электронный ресурс].— URL: <http://www.ero.ie/EU-NDP-2000-2006.html> (дата обращения: 12.05.2025).

12. Grishina O. A., Grishin A. I., Stroganov I. A. Perspektivnyi metodicheskii podkhod k vyyavleniyu zon s naiboldschim potentsialom dlya razvitiya velotransportnoi infrastruktury goroda [Prospective methodological approach to identifying areas with the greatest

potential for the development of cycling transport infrastructure in the city] // Statistika i ekonomika [Statistics and Economics].— 2022.— Vol. 19, no. 6.— P. 10–20.— DOI: 10.21686/2500-3925-2022-6-10-20.

13. Kornilova A. D., Babenchuk K. A. Sotsial'no-ekonomicheskie efekty ot razvitiya transportnoi infrastruktury [Social and economic effects of transport infrastructure development] // Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law].— 2021.— No. 7 (part 2).— P. 176–183.— DOI: 10.17513/vael.1796.

14. Mitryukova K. A. Vliyanie transportnoi infrastruktury na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regionov: prakticheskaya znachimost' i nauchnye raznoglasiya [The impact of transport infrastructure on socio-economic development of regions: practical significance and scientific disagreements] // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo [Economics, Entrepreneurship and Law].— 2023.— Vol. 13, no. 7.— P. 2399–2412.— DOI: 10.18334/epp.13.7.118352.

15. Titov V. P. Raspredelenie resursov transportnoi sistemy: podkhody k analizu [Distribution of transport system resources: approaches to analysis] // Strategicheskoe planirovanie i razvitie predpriyatii: materialy XXIV Vserossiiskogo simpoziuma.— Moscow: CEMI RAS, 2023.— P. 228–233.— DOI: 10.34706/978-5-8211-8211-0814-2-s1-44.— EDN: TOJXKU.

16. Usova T. V. Transportnaya infrastruktura kak faktor razvitiya territorii i svyazannosti ekonomicheskogo prostranstva [Transport infrastructure as a factor in the development of territories and connectivity of economic space] // Problemy razvitiya territorii [Problems of Territory Development].— 2021.— Vol. 25, no. 3.— P. 7–22.— DOI: 10.15838/ptd.2021.3.113.1.

17. Ustyuzhanina E. V., Ustyuzhanin V. L. Seti sozdaniya stoimosti kak uchastniki sistemy indikatornogo planirovaniya [Value creation networks as participants in the indicative planning system] // Kreativnaya ekonomika [Creative Economy].— 2024.— Vol. 18, no. 10.— P. 2625–2640.

18. Stroganov I. A., Grishin A. I. *Primenenie programm kompleksnogo razvitiya territorii i mekhanizma GChP pri reshenii problem sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya mal'kh gorodov-istoricheskikh poselenii federal'nogo znacheniya* [Application of comprehensive territorial development programs and PPP mechanisms in solving problems of socio-economic development of small towns-historical settlements of federal significance] // *Plekhanovskii nauchnyi byulleten'* [Plekhanov Scientific Bulletin].— 2019.—No. 1 (15).—P. 144–157.

19. *Magadanskaya oblast': problemy, vozmozhnosti i perspektivy razvitiya* [Magadan

Region: Problems, Opportunities and Development Prospects].—Moscow: RUSAINS, 2020.— 176 p.

20. *Transport v Rossii. 2024: stat. sb.* [Transport in Russia. 2024: Statistical collection].—Moscow: Rosstat, 2024.— 100 p.

21. Table of Areas of Countries of the World [Electronic resource]. URL: <https://infotables.ru/strany-i-goroda/19-tablitsa-ploshchad-territorij-stran-mira> (Accessed: 12.05.2025).

22. 20 Countries of the World with the Longest Highways [Electronic resource]. URL: <https://geographyofrussia.com/20-stran-mira-s-naibolshej-dlinoj-avtomobilnyx-dorog/> (Accessed: 16.06.2025).

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторах	Information about the authors
Гришина Ольга Алексеевна доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник ГБУ «МосТрансПроект» Адрес: ГБУ «МосТрансПроект», 101000, г. Москва, Потаповский переулок, д. 3, стр. 1 ORCID: 0000–0001–9033–8555 E-mail: GrishinaOA6@mtp.mos.ru	Grishina Olga Alekseevna Doctor of Economic Sciences, Professor, Chief Research Fellow at SBI «MosTransProject» Address: Address: SBI «MosTransProject», 101000, Moscow, Potapovsky Lane, 3, building 1 ORCID: 0000–0001–9033–8555 E-mail: GrishinaOA6@mtp.mos.ru
Устюжанина Елена Владимировна доктор экономических наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории ФГБУН «Центральный экономико-математический институт» Адрес: ФГБУН «Центральный экономико- математический институт», 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47 ORCID: 0000–0001–8705–5992 E-mail: dba-guu@yandex.ru	Ustyuzhanina Elena Vladimirovna Doctor of Economic Sciences, Chief Research Fellow, Laboratory Head, Central Economics and Mathematics Institute, RAS Address: Central Economics and Mathematics Institute, RAS, 117418, Moscow, 47 Nakhimovsky Prospect ORCID: 0000–0001–8705–5992 E-mail: dba-guu@yandex.ru

УДК 656

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ АВТОБУСНЫХ МАРШРУТОВ В УТРЕННИЙ ПИКОВЫЙ ПЕРИОД В ГРАНИЦАХ МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СВЯЗИ ОДИНЦОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА И ГОРОДА МОСКВЫ)

Д. С. Бахарев

НИУ «Высшая школа экономики» (ВШЭ)

Аннотация. В статье рассматривается проблема неравномерности распределения пассажиропотоков на смежных межрегиональных автобусных маршрутах в границах Московской агломерации на примере связи Одинцовского городского округа Московской области и Западного административного округа Москвы в утренний пиковый период. Цель исследования — выявление особенностей пространственной и временной неравномерности распределения пассажиропотоков между населенными пунктами Немчиновка и Ромашково и прилегающими районами Москвы. Для достижения поставленной цели проведены анализ демографических и транспортных характеристик исследуемых территорий, детализация существующих маршрутов регулярных перевозок № 597 и № 597М, а также сбор и обработка фактических данных о режиме работы и наполняемости подвижного состава малой вместимости. Произведено сопоставление официальных и фактических трасс маршрутов, выявлено несовпадение остановочных пунктов и протяженности, а также дана оценка уровня обустройства зон пассажирообмена. Установлено, что высокий пассажиропоток приводит к крайней степени наполнения ТС в направлении Москвы в утренний час пик при одновременном недостаточном уровне транспортной инфраструктуры и обустройства остановочных пунктов на ряде участков. Сделан вывод о необходимости дальнейшего совершенствования межрегионального транспортного обслуживания и инфраструктуры для адекватного удовлетворения спроса населения в условиях интенсивной маятниковой миграции и роста численности жителей пригородных территорий Московской агломерации.

Ключевые слова: пассажиропоток, смежные межрегиональные маршруты регулярных перевозок, транспортное обслуживание населения, Московская агломерация.

UDC 656

PASSENGER FLOW DISTRIBUTION ANALYSIS FOR BUS ROUTES DURING MORNING PEAK PERIOD WITHIN MOSCOW AGGLOMERATION (CASE STUDY: ODINTSOVO URBAN DISTRICT — MOSCOW CITY)

D. S. Bakharev

National Research University Higher School of Economics (HSE)

Abstract. This study examines uneven passenger flow distribution on adjacent interregional bus routes within Moscow agglomeration boundaries, focusing on connections between Odintsovo Urban District and Moscow's Western Administrative District during morning peak hours. The research investigates spatial and temporal passenger flow distribution patterns between Nemchinovka and Romashkovo settlements and adjacent Moscow districts. The methodology encompassed demographic and transport characteristic analysis of study areas, detailed examination of regular routes № 597 and № 597M, and collection of operational data regarding small-capacity vehicle schedules and occupancy rates. Route analysis revealed discrepancies between official and actual route alignments, stop locations, and distances, while assessing passenger exchange

zone infrastructure quality. Results demonstrate significantly higher passenger volumes and extreme vehicle overcrowding toward Moscow during morning peak periods, coupled with inadequate transport infrastructure and stop facilities across multiple route segments. Findings indicate urgent need for enhanced interregional transport services and infrastructure development to adequately address population demands amid intensive commuting patterns and suburban population growth within Moscow agglomeration.

Keywords: passenger flow, adjacent interregional regular routes, public transport services, Moscow, Moscow Region, Moscow agglomeration.

Введение

Москва и Московская область представляют собой единую территориально-экономическую структуру. Она характеризуется многолетними интеграционными процессами, которые выходят за рамки простого административно-территориального соседства и охватывают комплекс социально-экономических связей, включая развитую систему транспортно-логистического сообщения, обеспечивающую функционирование Московской агломерации как целостного урбанизированного образования с интенсивной трудовой маятниковой миграцией населения. Это обуславливает необходимость координированного подхода к планированию и управлению развитием данной территориальной системы.

Согласно прогнозным материалам исследования фонда «Институт экономики города» [12] Московская агломерация является самой крупной из общего числа агломераций нашей страны¹. В 2021 году в ней проживало 18,89 млн чел., а к 2030 году это число увеличится на 5% и составит 19,84 млн чел.

За последние годы динамика трудовой маятниковой миграции из Московской области в столицу России характеризовалась устойчивым ростом (наравне с темпами роста численности населения обоих субъектов РФ) [13]. Однако в 2022 году наблюдалось падение трудовой маятниковой миграции в Москву на 15,4% (с 1,3 млн чел. в 2015 г. до 1,1 млн чел. в 2022 г.), что характеризуется изменениями трудовых условий, в т. ч. переходом на гибридный и дистанционный форматы работы. В исследовании говорится, что 60% трудовых маятниковых перемещений из Московской области (и обратно) совершают жители районов, прилегающих к МКАД, однако транспортное обслуживание этих районов маршрутами регулярных перевозок общественного транспорта не всегда отвечает потребностям населения. Низкий уровень транспортного обслуживания приводит к выстраиванию очередей на посадку

в утренний час пик на начальных остановочных пунктах общественного транспорта в Московской области и в вечерний час пик на начальных остановочных пунктах общественного транспорта в Москве (рис. 1), что вызывает негативный опыт использования общественного транспорта. В то же время потенциальные пассажиры, которые хотели бы воспользоваться услугами общественного транспорта на промежуточных остановочных пунктах на смежных межрегиональных маршрутах регулярных перевозок, вынуждены смотреть на проезжающие мимо транспортные средства, полностью заполненные пассажирами, вошедшими на начальных остановочных пунктах по маршрутам следования.



Рис. 1. Очередь на посадку на смежный межрегиональный маршрут № 597 между Москвой и Московской областью в вечерний час пик на станции метро «Молодежная». Источник: архив автора

В исследовании [11] выявлен характер пространственной неравномерности пассажиропотоков² в различных типах агломераций. Пассажиропоток Московской агломерации как моноцентричной (с центром притяжения в Москве) характеризуется увеличением потока к городу-ядру. Однако это увеличение происходит нелинейно: характер распределения пассажиро-

¹ В рамках исследования выделяется 17 агломераций по всей России.

² Пространственная неравномерность пассажиропотока — распределение величины пассажиропотока и прочих присущих характеристик по длине пригородного участка по мере приближения к головной станции города-ядра.

потока зависит от транспортного удаления городов-спутников и других населенных пунктов, генерирующих массовые пассажиропотоки, относительно города-ядра. Распределение пассажиропотока не только нелинейно, но и неоднородно в силу множества других факторов, без должного анализа которых не представляется возможным принятие управленческих решений в области организации перевозок пассажиров. К таким факторам могут относиться:

- а) варианты направления движения по маршруту (в прямом и обратном направлениях);
- б) варианты трасс следования по маршруту;
- в) временные компоненты (время начала и окончания работы, часы пик, расписание движения, время в пути, частота движения);
- г) стоимостная компонента (стоимость проезда для различных групп пользователей);
- д) необходимость осуществления пересадки;
- е) вместимость транспортных средств на маршруте (по классам), и многие другие компоненты, влияющие на организацию перевозок пассажиров в пространстве и во времени.

В условиях Московской агломерации, где транспортная доступность между городом-ядром и городами-спутниками (в т. ч. населенными пунктами, находящимися вблизи МКАД) составляет ключевой аспект жизнедеятельности человека, характерно выявление *пространственно-временного распределения пассажиропотоков*.

Целью исследования является *выявление особенностей пространственной и временной неравномерностей распределения пассажиропотоков на автобусных смежных межрегиональных маршрутах регулярных перевозок в утренний пиковый период на примере связи территориально-соседствующих населенных пунктов Немчиновка и Ромашково Одинцовского городского округа Московской области с Западным административным округом Москвы*.

На основе указанной цели осуществлены:

1. Анализ территориального положения исследуемых территорий Московской агломерации;

2. Анализ транспортного обслуживания населения смежными межрегиональными маршрутами автобусного регулярного сообщения между исследуемыми территориями Московской агломерации;
3. Анализ распределения пассажиропотоков на смежных межрегиональных маршрутах автобусного регулярного сообщения между исследуемыми территориями Московской агломерации.

Для решения поставленных задач использованы геоинформационные сервисы, в частности комплекс программного обеспечения QGIS и программно-аппаратный комплекс Microsoft Excel 2016®. Данные о городской среде Московской агломерации приобретены у компании NextGIS [20], предоставляющей различные слои с информацией о существующей городской системе (дороги, здания, водоемы, территории озеленения, линии и остановки общественного транспорта). Данные о пассажиропотоках на исследуемых маршрутах в рамках научной статьи собраны автором в рамках гранта правительства Москвы и развития дорожно-транспортной инфраструктуры Москвы на реализацию мероприятий, связанных с проведением исследований по анализу распределения пассажиропотоков на смежных межрегиональных маршрутах регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом и разработкой рекомендаций по построению маршрутных сетей. Сбор данных осуществлялся в утренний пиковый период будних дней: с 6:30 до 9:00³.

В рамках исследования не будут рассматриваться пассажиропотоки на пригородных электропоездах Московской агломерации, однако данный вид транспорта и связи будет учтен.

В результате проведения исследования выявлены *особенности пространственной и временной неравномерностей распределения пассажиропотоков автобусных смежных межрегиональных маршрутов регулярных перевозок в утренний пиковый период между исследуемыми территориями Московской агломерации*.

³ Указанный временной диапазон является ориентиром для начала замеров, в силу того что часть выпусков транспортных средств на маршрутах могла отклоняться на ± 15 –20 минут от официального времени начала замеров на маршрутах.

Анализ территориального положения исследуемых территорий Московской агломерации

В рамках исследовательского проекта по анализу распределения пассажиропотоков на смежных межрегиональных маршрутах регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электриче-

ским транспортом между Москвой и Московской областью (далее — проект) сформировано 8 территориальных зон для осуществления замеров (рис. 2).

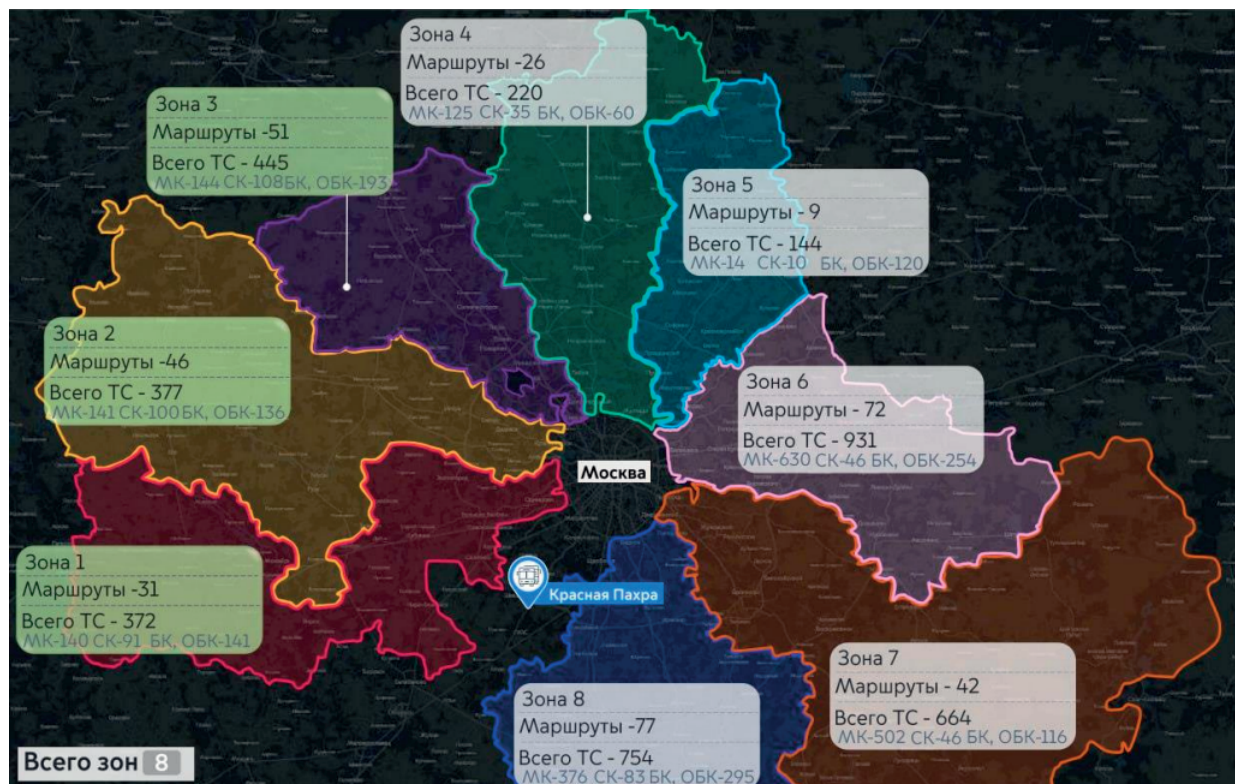
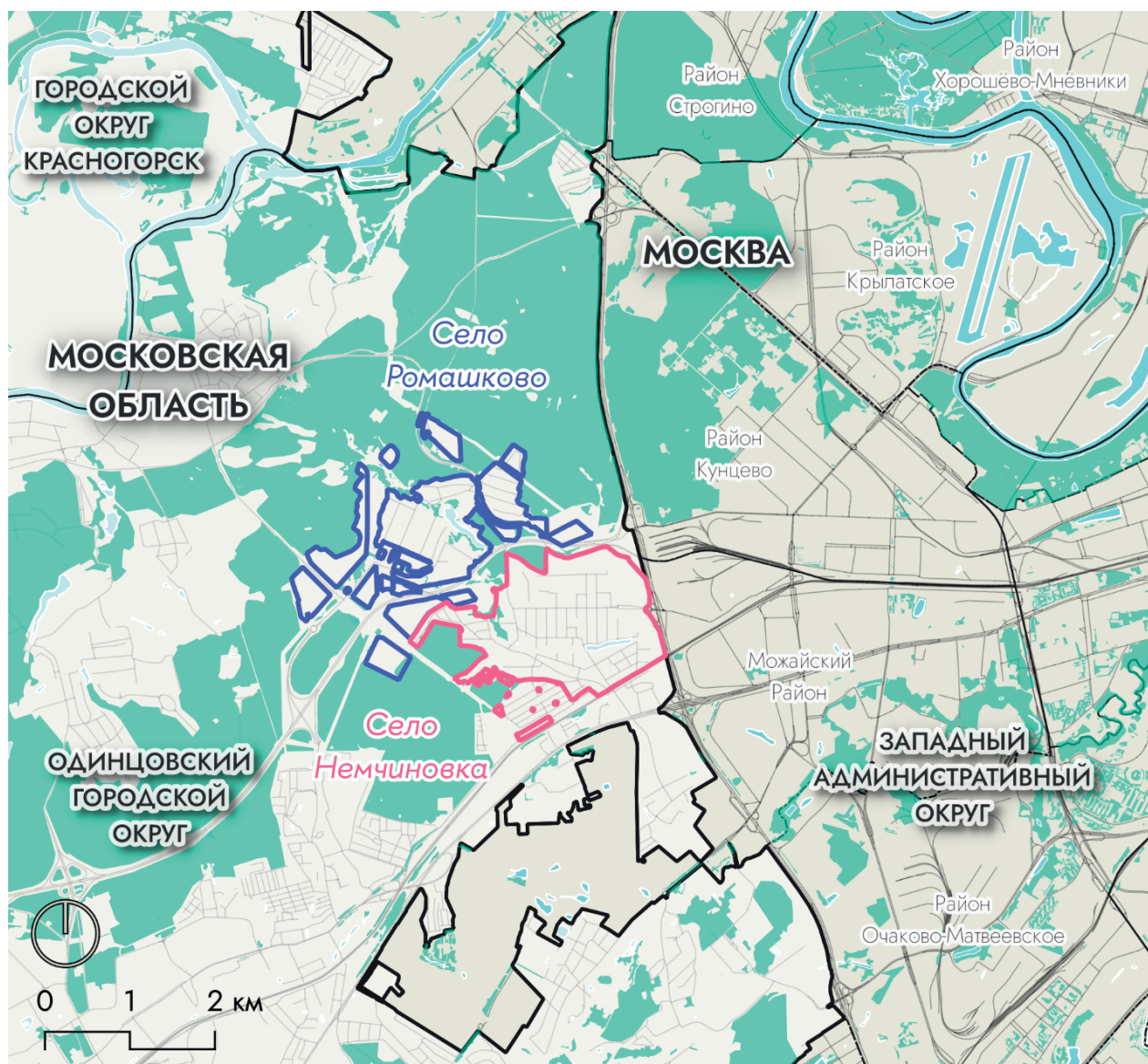


Рис. 2. Территориальные зоны, в границах которых осуществлены замеры смежных межрегиональных маршрутов. Источник: данные Департамента транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры Москвы

В исследовании проанализированы территориально-соседствующие друг с другом населенные пункты Немчиновка и Ромашково Одинцовского городского округа, расположенные в Зоне 1 (рис. 3). Выбор населенных пунктов обоснован территориальной близостью к границам Москвы, отсутствием станции метрополитена вблизи МКАД и необходимостью для жителей совершать ежедневные трудовые и социальные поездки в Москву и обратно — в силу недостаточного числа мест приложения труда и объектов социально-культурного и ком-

мунально-бытового обслуживания населения в границах анализируемых населенных пунктов.

Принимая во внимание материалы карт планируемого размещения объектов местного значения Одинцовского городского округа Московской области применительно к населенным пунктам село Ромашково [7] и село Немчиновка [8], можно сделать вывод, что объектов социально-культурного и коммунально-бытового обслуживания населения недостаточно. Подобного рода социальные проблемы трансформируются в дорожные и транспортные проблемы.



Административные границы

- Границы субъектов РФ
- Границы Административных округов г. Москвы / Городских округов Московской области
- Границы районов г. Москвы

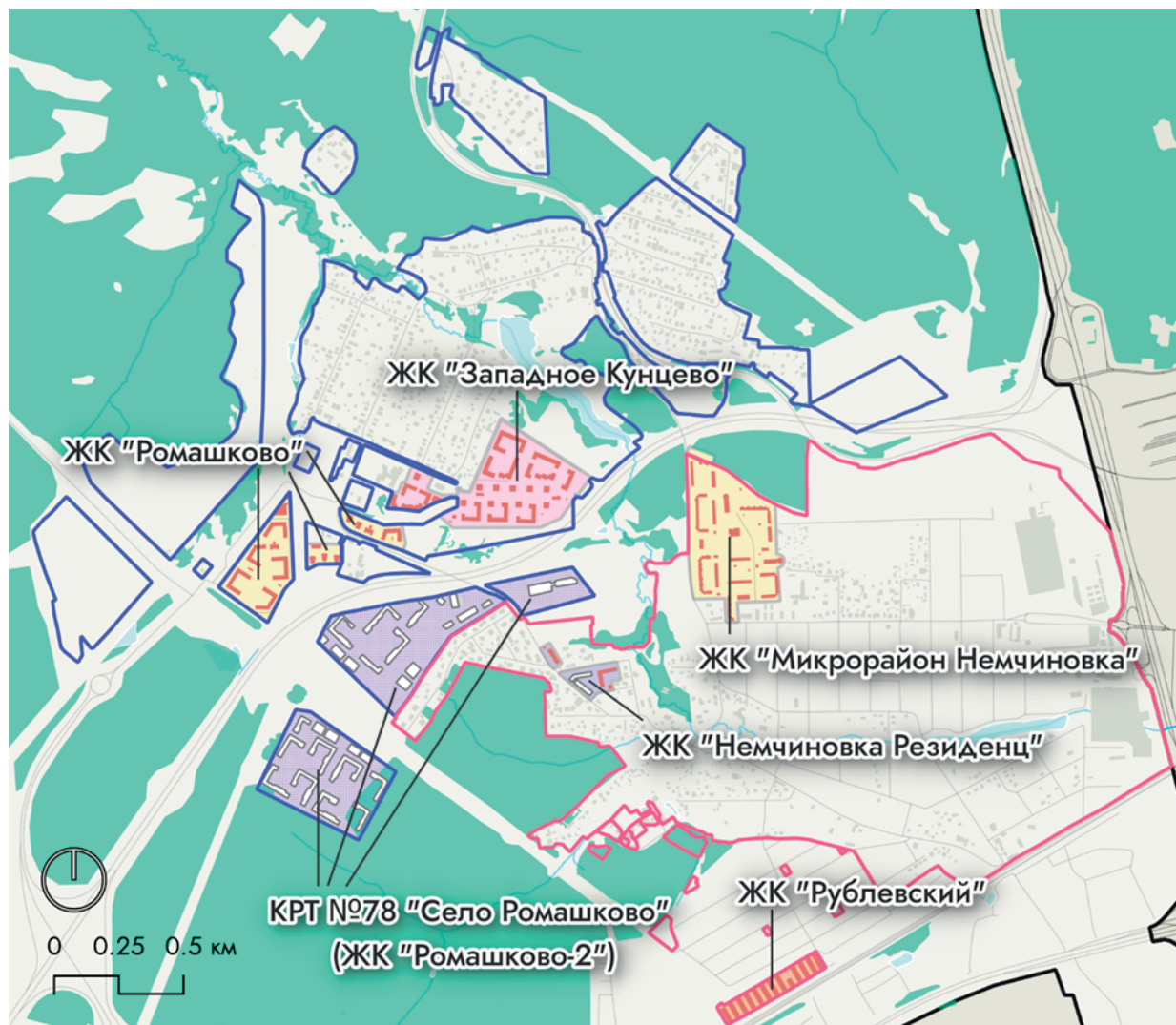
Границы исследуемой территории

- Село Ромашково
- Село Немчиновка

Рис. 3. Границы исследования территорий. Источник: анализ и визуализация произведены автором в QGIS с использованием коммерческих и публичных данных [10], [20]

Усугублению дорожной и транспортной ситуации способствуют построенные за последние 12 лет пять жилых комплексов (далее — ЖК) [16,

17, 18, 19, 21] и планируемый к реализации перспективный проект КРТ № 78 «Село Ромашково» (ЖК «Ромашково-2») [7, 9] (рис. 4).



Границы исследуемых территорий

- Село Ромашково
- Село Немчиновка

Новые ЖК

- 2013 - ЖК "Западное Кунцево" - 19 жилых домов (5-6 этажей)
- 2016 - ЖК "Ромашково" - 11 жилых домов (5-6 этажей)
- 2016 - ЖК "Микрорайон Немчиновка" - 17 жилых домов (10-17 этажей)
- 2020 - ЖК "Немчиновка Резиденц" - 2 из 4 жилых дома (4 этажа) сдано
- 2025 - ЖК "Рублёвский" - 13 жилых домов (3-4 этажа)
- Перспективный проект - ЖК "Ромашково-2" - 14 жилых домов (6-14 этажей)

Жилые объекты в Новых ЖК

- Построены и сданы
- Планируются к постройке

Рис. 4. Новые ЖК в границах исследуемых территорий. Источник: анализ и визуализация произведены автором в QGIS, данные NextGIS [20]

В связи с появлением новостроек численность населения в 2021 году в селе Немчиновка увеличилась в 5 раз по сравнению с 2010 годом и составила 12,65 тыс. чел. По прогнозам, данный уровень численности населения будет сохраняться до 2044 года [8].

С 2010 по 2021 годы численность населения в селе Ромашково выросла в 3 раза, при этом рост

произошел за счет новоселов ЖК. Ожидается, что численность населения к 2028 году составит 16 тыс. чел. [7] благодаря реализации КРТ № 78 «Село Ромашково» (табл. 1). Отметим, что численность населения, проживающего в индивидуальном жилом строительстве, не изменится на расчетный период (табл. 2).

Таблица 1

Численность населения исследуемых территорий (тыс. чел)					
Населенный пункт	2002	2010	2021	Первая очередь	Расчетный срок
с. Ромашково	0,74	1	2,99	16,02	16,85
с. Немчиновка	1,75	2,54	12,65	12,65	12,66
Совокупный показатель по исследуемым территориям	2,49	3,54	15,64	28,67	29,51

Источник: [1, 2, 3, 7, 8]

Таблица 2

Численность населения МКД и ИЖС исследуемых территорий (тыс. чел.)									
Населенный пункт	Численность населения, тыс. чел.			Численность населения МКД, тыс. чел.			Численность населения ИЖС, тыс. чел.		
	Сущ. Пол.	Первая очередь	Расчетный срок	Сущ. Пол.	Первая очередь	Расчетный срок	Сущ. Пол.	Первая очередь	Расчетный срок
с. Ромашково	2,99	16,02	16,85	2,4	15,43	15,43	0,59	0,59	1,42
с. Немчиновка	12,65	12,65	12,66	5,74	5,74	5,74	6,91	6,91	6,92
Совокупный показатель по исследуемым территориям	15,64	28,67	29,51	8,14	21,17	21,17	7,5	7,5	8,34

Источник: [7, 8]

В результате строительства новых ЖК на территории исследуемых населенных пунктов совокупная численность населения в краткосрочной перспективе вырастет в 8 раз относительно

численности населения 2010 года⁴, и составит 28,67 тыс. чел. Столь высокий рост эквивалентно усилит нагрузку на имеющиеся объекты транспортной инфраструктуры.

Анализ транспортного обслуживания населения смежными межрегиональными маршрутами автобусного регулярного сообщения между исследуемыми территориями Московской агломерации

Высокие темпы роста строительства жилья в Московской агломерации приводят к значительному увеличению численности населения. В этих условиях возрастает потребность в эффективной организации транспортного обслуживания, способного обеспечить комфортное и своевременное перемещение жителей между городом-ядром и городами-спутниками, в т. ч. населенными пунктами, генерирующими массовые пассажиропотоки.

В данном разделе приводится оценка транспортного обслуживания населения смежными межрегиональными маршрутами автобусного регулярного сообщения путем анализа официальных источников и сбора фактических данных в ходе транспортного обследования. В таблице 3 указан перечень и административные характеристики объектов исследования: смежных межрегиональных маршрутов (далее — маршрут) № 597, № 597М).

⁴ До реализации строительства жилых комплексов.

В ходе натурных обследований было выявлено 2 типа маршрута № 597, которые осуществляют схожую транспортную работу: красный маршрутоуказатель (далее — красный маршрут) — частный перевозчик (рис. 5) и черный маршрутоуказатель (далее — черный маршрут) — муниципальный перевозчик (рис. 6). Однако тарифы и уровень оказываемого сервиса существенно отличаются (Приложение 1, табл. 4). Например, пассажиры красного маршрута № 597 имеют возможность оплаты проезда за наличный расчет (Приложение 2), который был запрещен законом Московской области 18 июня 2022 года [4, 14]. В то же время черный маршрут остается востребованным у населения благодаря приему социальных и льготных карт жителей Московской области. Однако из-за недостаточного количества транспортных средств (далее — ТС) на маршруте и длительного периода ожидания, уровень удов-

летворенности у пассажиров от поездки на маршруте снижается.

Маршрут № 597М не указан в реестрах смежных межрегиональных маршрутов Москвы и Московской области [5, 6], в связи с чем функционирует нелегально. Однако согласно официально размещенной тарифной сетке (Приложение 1), маршрут № 597М подразумевается как альтернатива черного маршрута № 597 и обозначается № 597-2. При этом трассы следования и прочие параметры их транспортной работы заметно отличаются.

Анализируемые маршруты обеспечивают транспортную связность построенных ЖК населенных пунктов с ж. д. станциями и платформами Белорусского и Усовского направлений, а также Арбатско-Покровской линией метрополитена (рис. 8).

Таблица 3

Перечень анализируемых маршрутов

Маршрут ID ⁵	Административный номер маршрута	Тип маршрута	Вид регулируемых перевозок	Организатор перевозок	Количество ТС	Класс ТС
1	№ 597	Смежный межрегиональный маршрут	-	-	13 ТС	Малый
	Красный маршрут № 597 (рис. 5)		Нерегулируемые перевозки	ООО «Контраст Плюс» / ООО «АвтоЛидер»	6 ТС / 6 ТС	Малый
	Черный маршрут № 597 (рис. 6)		Регулируемые перевозки	АО «МОСТРАНСАВТО»	1 ТС	Малый
2	№ 597М (рис. 7)	Смежный межрегиональный маршрут	Регулируемые перевозки	АО «МОСТРАНСАВТО»	17 ТС	Малый

Источник: сбор данных, анализ и разработка автора, [5, 6]

Таблица 4

Тарификация на анализируемых маршрутах

Административный номер маршрута	Способы оплаты				
	Наличные	Банковская карта	Транспортная карта «Стрелка»	Транспортная карта «Тройка» (тариф «Кошелек»)	Социальные карты и льготы
597					
Красный маршрут № 597	Единый тариф: 60 руб. (цена по состоянию на дату замера) / 65 рублей (цена по состоянию на дату написания работы)				Не принимаются
Черный маршрут № 597	Не принимаются	Применяется тарифная сетка Московской области: 60 руб. — максимальный тариф на маршруте (от начальной до конечной) (цены по состоянию на дату замера)			Согласно установленным льготам и скидочным механизмам Московской области

⁵ В ходе дальнейшего анализа автором в равной степени применяются административный номер маршрута, уникальный номер маршрута (Маршрут ID) и уникальный номер МВН (Приложение 3).

Административный номер маршрута	Способы оплаты				
	Наличные	Банковская карта	Транспортная карта «Стрелка»	Транспортная карта «Тройка» (тариф «Кошелек»)	Социальные карты и льготы
597M	Не принимаются	Применяется тарифная сетка Московской области: 76 руб.—максимальный тариф на маршруте (от начальной до конечной) (цены по состоянию на дату замера) / 81 руб.—максимальный тариф на маршруте (от начальной до конечной) (цена по состоянию на дату написания работы)			Согласно установленным льготам и скидочным механизмам Московской области

Источник: сбор данных, анализ и разработка автора, [5, 6]



Рис. 5. Красный маршрут № 597.
Источник: архив автора



Рис. 6. Черный маршрут № 597.
Источник: архив автора



Рис. 7. Маршрут № 597M.
Источник: архив автора

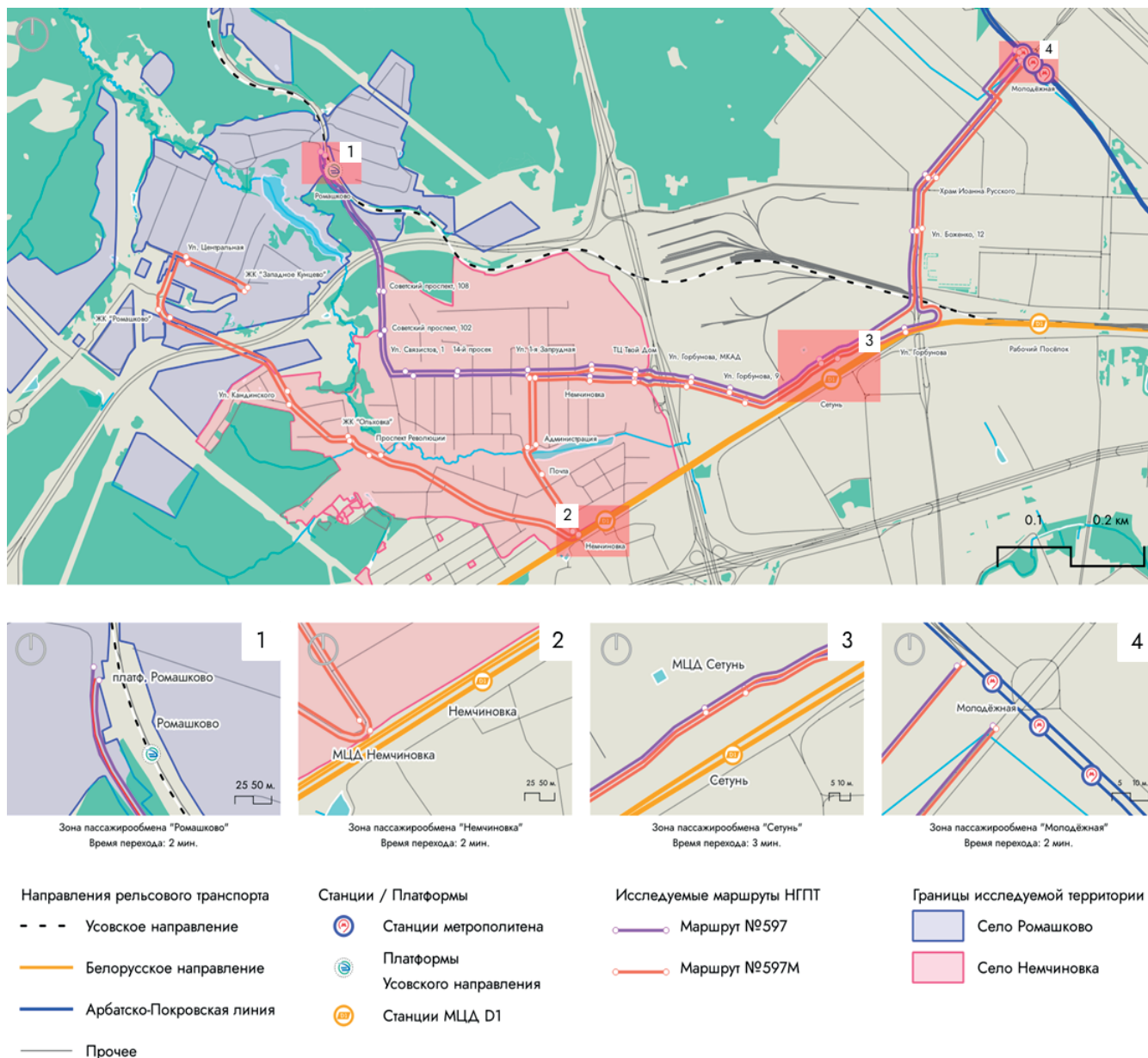


Рис. 8. Маршруты и направления общественного транспорта, проходящие вблизи границ исследуемой территории. Источник: анализ и визуализация произведены автором в QGIS, данные NextGIS [20]

В целях дальнейшего анализа маршруты переведены в МВН⁶ (Приложение 3).

В Приложении 4 представлен сравнительный анализ трасс следования МВН, на основании которого сделан вывод о несоответствии фактической трассы следования с заявленными в официальных источниках: как в части осуществления остановок, так и в части протяженности МВН.

В таблице 5 представлена сводная таблица оценки уровня обустройства зон пассажирообмена на анализируемых МВН, в ходе анализа которой видно, что 47% остановочных пунктов имеют крайне низкий уровень обустройства. Однако стоит заметить, что возможность обустройства указанных ОП (Приложение 5) в соответствии с нормами проектирования ОП является отдельной темой для изучения и исследования.

⁶ МВН — маршрут (номер), вариант (трассировки), направление (следования по маршруту). В российскую практику этот термин ввел Г. В. Таубкин (руководитель группы планирования общественного транспорта компании WSP Canada) в целях комплексного анализа как отдельно взятого маршрута общественного транспорта, так и части (куста) маршрутной сети.

Таблица 5

Уровень обустройства зон пассажирообмена на анализируемых МВН

Уровень обустройства зон пассажирообмена	Количество ОП	Доля относительно всех ОП по анализируемым маршрутам
100%	22	47%
50–99%	3	6%
<50%	22	47%

Источник: сбор данных, расчеты и анализ произведены автором

Исходя из анализа транспортного обслуживания, можно сделать следующие выводы:

1. Указанные в реестре маршруты и трассы их следования не соответствуют действующим маршрутам.
2. Около 50% транспортной инфраструктуры, предназначенной для осуществления пассажирообмена на указанных выше маршрутах, не соответствуют базовым требованиям обустройства.
3. Частичная передача обязанностей по осуществлению транспортной работы на маршруте № 597 частным лицам приводит к нарушению действующих законов о способах оплаты проезда пассажиров и провоза багажа посредством оплаты наличными средствами.

Анализ распределения пассажиропотоков на смежных межрегиональных маршрутах автобусного регулярного сообщения между исследуемыми территориями Московской агломерации

В рамках проекта осуществлены «по-остановочные» замеры пассажиропотоков на маршрутах № 597, № 597М в целях дальнейшего планирования маршрутной сети.

На рисунках 9–2 и 9–4 проиллюстрированы пассажиропотоки в утренний пиковый период на черном и красном маршрутах № 597 из Москвы в Московскую область. Красный маршрут был замерен с 6:43 до 6:59 (время в пути 16 минут), черный маршрут — с 8:02 до 8:22 (время в пути 20 минут).

Распределение пассажиропотока в утренний пиковый период (во времени) отличается. В раннее утро (до 7:30) пассажиропоток в Московскую область чрезмерно низкий. В позднее утро (после 7:30) пассажиропоток возрастает в связи с приближением начала рабочего дня.

Распределение пассажиропотока в пространстве неравномерно. Особое внимание необходимо уделить двум сегментам трассы следования: а) от ОП «м. “Молодежная”» до ОП «Немчиновка» и б) от ОП «ул. Свя-

зистов, 1» до ОП «Платформа Ромашково» (рисунок 9–2). Для первого сегмента характерен снижающийся пассажиропоток в силу приближения к рабочим местам (завод «Электроштит», ТРК Vegas Кунцево, техцентр «Кунцево», Институт легких сплавов и др.), расположенным вблизи транспортной развязки ул. Горбунова — МКАД, 56 км. Второму сегменту характерен несвойственный возрастающий пассажиропоток при движении в сторону платформы Ромашково Московской области для дальнейшей пересадки приближающегося пригородного электропоезда с отправлением в 8:38 в Москву (табл. 6). Таким образом, зная расписание пригородных поездов в сторону Москвы, некоторые жители ЖК «Микрорайон Немчиновка» принимают для себя решение осуществить поездку не в сторону Москвы на автобусе маршрута № 597, а в сторону Московской области до платформы Ромашково пригородного электропоезда Усовского направления, откуда осуществляется движение в сторону Москвы (до Белорусского вокзала).

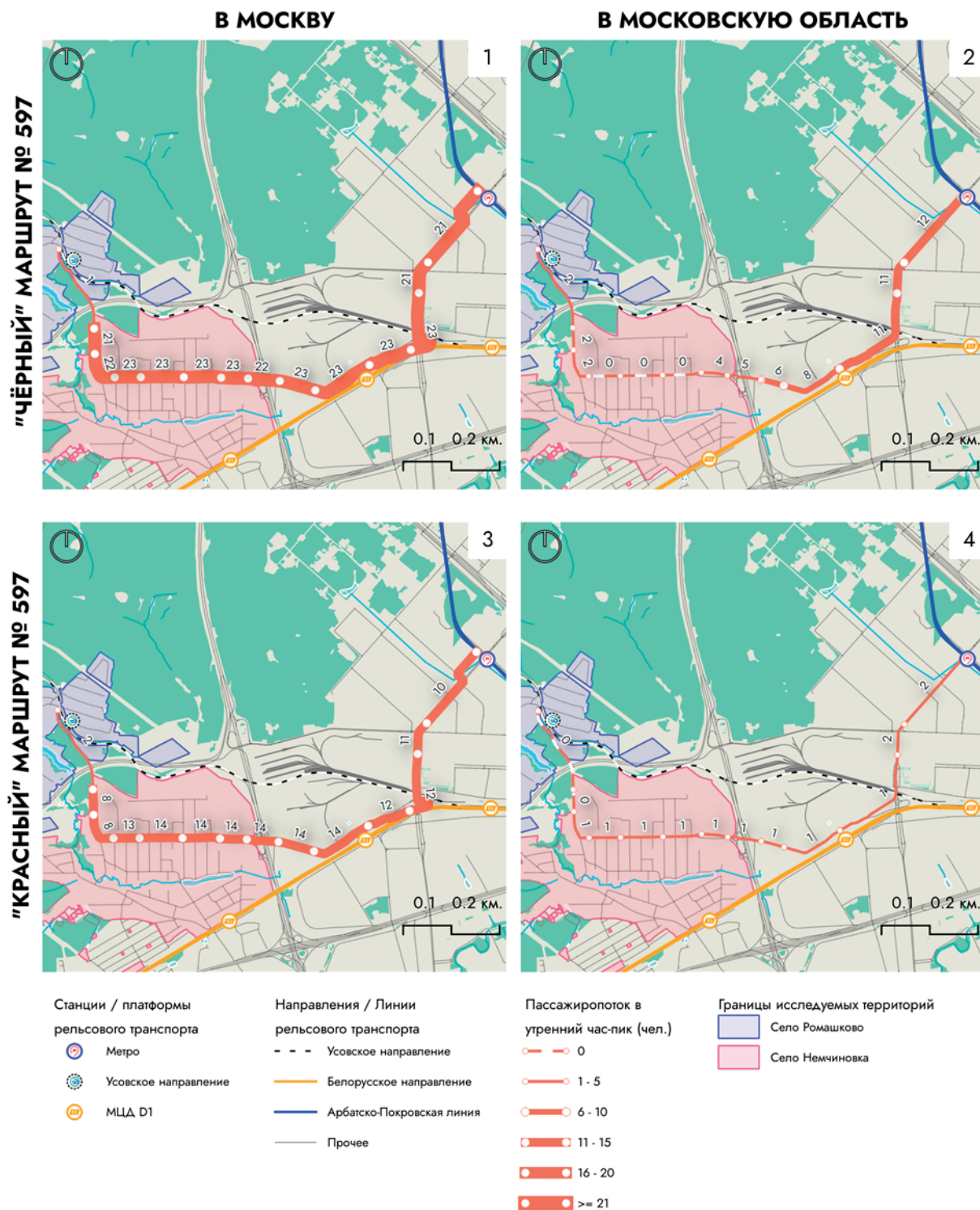


Рис. 9. Пассажиропотоки маршрута № 597 в утренний час пик.
Источник: сбор данных, анализ и визуализация произведены автором в QGIS

Таблица 6

Время отправления пригородных электропоездов по направлению
в Москву с платформы Ромашково в утренний пиковый период

Номер поезда	Станция отправления	Тип поезда	Время отправления
6952	Ромашково	Пассажирский	6:37
6954	Ромашково	Пассажирский	7:36
6956	Ромашково	Пассажирский	8:38

Источник: [15]

На рисунках 9–1 и 9–3 проиллюстрированы пассажиропотоки в утренний пиковый период на черном и красном маршрутах № 597 из Московской области в Москву. Красный маршрут был замерен с 6:15 до 6:34 (время в пути 19 минут), черный маршрут — с 7:25 до 7:53 (время в пути 28 минут).

В раннее (до 7:30) и позднее утро (после 7:30) наблюдается стабильный высокий пассажиропоток в Москву. Отметим, что ключевыми зонами посадки пассажиров являются ОП «Советский проспект, 108» и ОП «Ул. Связистов, 1» (Московская область). В то же время высадка пассажиров преимущественно осуществляется в Москве на установленных остановочных пунктах от ОП «МЦД "Сетунь"» до ОП «м. "Молодежная"» (конечная).

Пассажиропоток в прямом и обратном направлениях маршрута № 597 заметно отличается в утренний пиковый период (рис. 9). Наибольший пассажиропоток наблюдается при движении в сторону Москвы вне зависимости от типа маршрута (черного или красного).

На рисунках 10–1 и 10–2 проиллюстрированы пассажиропотоки в утренний пиковый период на маршруте № 597М. Маршрут из Москвы в Московскую область был замерен с 7:04 до 7:27 (время в пути 23 минуты) и с 8:21 до 8:51 (время в пути 30 минут). В обратном направлении замер производился с 6:33 до 7:01 (время в пути 28 минут) и с 8:57 до 9:27 (время в пути 30 минут).

В обоих направлениях маршрута № 597М характерна пространственная неравномерность пассажиропотоков. Жители ЖК «Западное Кунцево», «Ромашково», «Немчиновка Резиденц» во время поездок в Москву и из Москвы осуществляют посадку и высадку в следующих зонах пассажирообмена: «Немчиновка», «Сетунь» и «Молодежная» (рис. 8, 10).

Вне зависимости от времени отправления в утренний пиковый период, на маршрутах № 597 и № 597М в направлении Москвы наблюдается высокая степень наполняемости салона подвижного состава малого класса: от 14 до 23 человек при нормативной вместимости салона от 19 до 22 человек в зависимости от марки и модели транспортного средства.

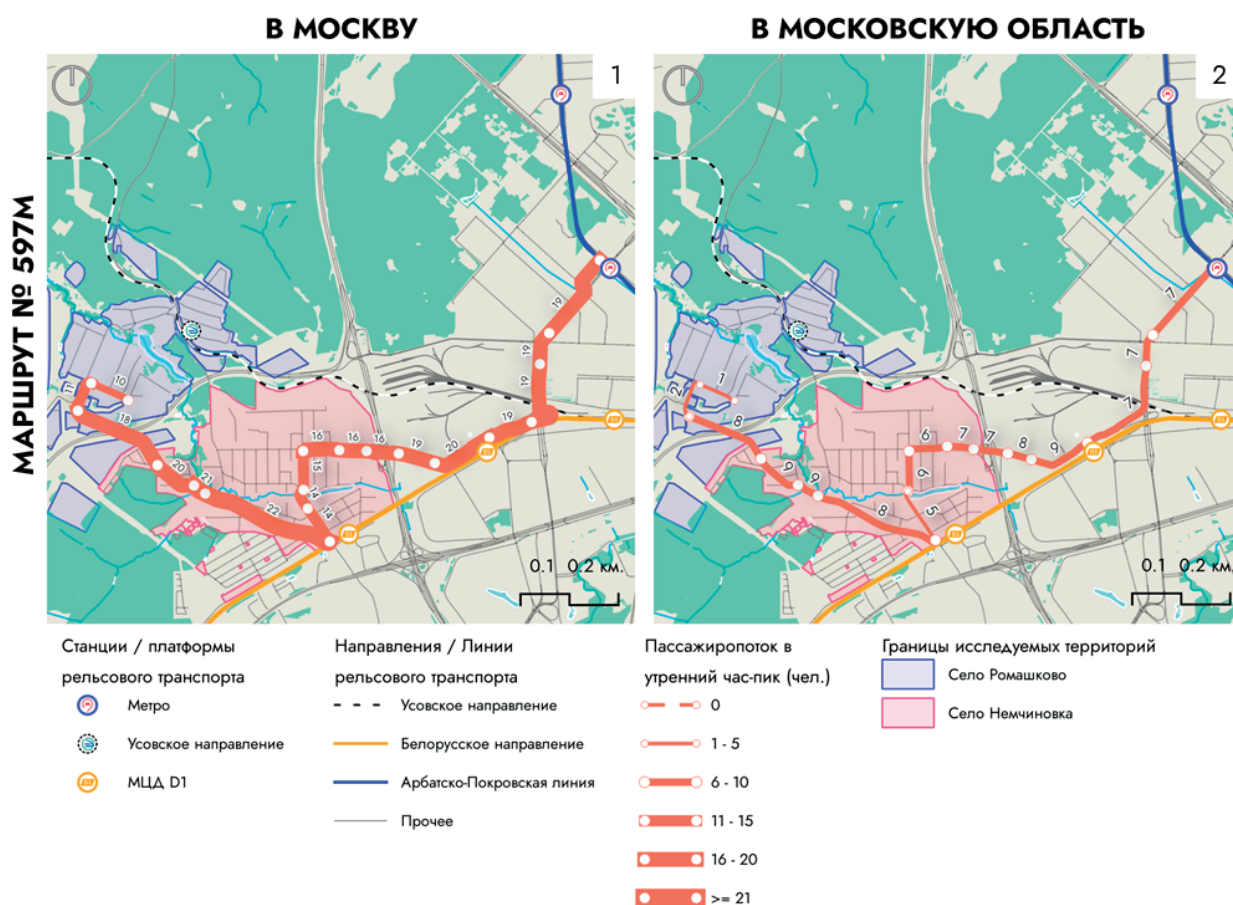


Рис. 10. Пассажиропотоки маршрута № 597М в утренний час пик. Источник: сбор данных, анализ и визуализация произведены автором в QGIS

В результате проведенного анализа пассажиропотоков сделаны следующие выводы:

1. Наибольший пассажиропоток в утренний пиковый период наблюдается в сторону Москвы на обоих анализируемых маршрутах.
2. Наибольший пассажирообмен наблюдается как на ключевых транспортно-пересадочных узлах, так и на остановочных пунктах, прилегающих к транспортной развязке

Заключение

Проведенный полевой сбор и анализ пассажиропотоков на маршрутах № 597 и № 597М, а также работа с официальными нормативно-правовыми актами Москвы и Московской области позволяют сделать следующие выводы о текущем состоянии транспортного обслуживания населения общественным транспортом:

1. Планируемый рост численности населения обусловлен непрерывным освоением территорий населенных пунктов сел Ромашково и Немчиновка.
2. Транспортная инфраструктура на анализируемых маршрутах не соответствует установленным базовым требованиям и нормам обустройства зон пассажирообмена.
3. В ранний и поздний утренний пиковые периоды основной пассажиропоток на анализируемых маршрутах направляется в сторону Москвы, где сконцентрированы места приложения труда и объекты социально-культурного и коммунально-бытового обслуживания населения. Однако наблюдается пространст-

ул. Горбунова — МКАД, 56 км, вблизи которой сконцентрированы рабочие места.

3. При приближении времени прибытия в утренний пиковый период пригородного электропоезда Усовского направления в сторону Москвы наблюдается рост пассажиропотока на маршруте № 597 в сторону Московской области к платформе Ромашково, на которой имеется возможность пересадки в сторону Москвы.

венная неоднородность пассажиропотоков на различных участках маршрутов, что обусловлено:

- а) наличием транспортно-пересадочных узлов на маршрутах;
- б) наличием концентрации рабочих мест на маршрутах.

Выявлено несвойственное перемещение населения на маршруте № 597 по направлению в сторону Московской области (до платформы Ромашково Усовского направления ж. д.) в утренние часы пик в целях осуществления поездки на пригородном электропоезде в сторону Москвы.

4. Планируемый рост численности населения в обоих населенных пунктах может привести к перегруженности салонов транспортных средств на обоих маршрутах, которые уже сейчас имеют высокий уровень наполняемости 75–105% относительно нормативного общего количества пассажирских мест в зависимости от марки и модели транспортного средства.

Список литературы

1. Итоги Всероссийской переписи населения 2002 года: [Численность населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, районов, городских поселений, сельских населенных пунктов — райцентров и сельских населенных пунктов с населением 3 тысячи и более человек] // Федеральная служба государственной статистики. — 2004. — [Электронный ресурс]. URL: https://perepis2002.ru/ct/doc/1_TOM_01_04.xls (дата обращения: 08.07.2025).

2. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 года: [алфавитный справочник сельских населенных пунктов Московской области]. — М.: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Московской области, 2013. — Т. III. — [Электронный ресурс]. URL: <http://www.webcitation.org/6KVS8BfU>

(дата обращения: 08.07.2025).

3. Итоги Всероссийской переписи населения 2020 года (по состоянию на 1 октября 2021 года): [Численность населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, городских округов, муниципальных районов, муниципальных округов, городских и сельских поселений, городских населенных пунктов, сельских населенных пунктов с населением 3000 человек и более] // Федеральная служба государственной статистики. — 2021. — [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/tab-5_VPN-2020.xlsx (дата обращения: 08.07.2025).

4. Закон Московской области от 07.06.2022 № 85/2022-ОЗ «О внесении изменения в Закон Московской области “Об организации транспортного обслуживания населения на террито-

рии Московской области» // Совет депутатов Московской областной Думы. — [Электронный ресурс]. URL: <https://mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/zakony/07-06-2022-16-39-35-zakon-moskovskoy-oblasti-85-2022-oz-o-vnesenii-izm> (дата обращения: 09.07.2025).

5. Реестр смежных межрегиональных маршрутов регулярных перевозок между городом Москвой и Московской областью (от 07.05.2025) // Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы. — [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/7107/Reestsmejnykhmoskva.xls> (дата обращения: 05.07.2025).

6. Реестр смежных межрегиональных маршрутов регулярных перевозок между городом Москвой и Московской областью, начальный остановочный пункт которых находится на территории Московской области (часть 1) (от 01.07.2025) // Министерство транспорта и дорожной инфраструктуры Московской области. — [Электронный ресурс]. URL: <https://mtdi.mosreg.ru/upload/files/o/N/oNpXGO5SzM0V8NERWUckRvKdIKbcXIW0yIj0LnJYfBFMPjqMEEHMPGxy8lfTN9aDuQeuQwEmsiUYhHPDoZDH5XhSeYVhliq.xlsx> (дата обращения: 05.07.2025).

7. Постановление Администрации Одинцовского городского округа Московской области от 12.01.2024 № 62 «Об утверждении карты планируемого размещения объектов местного значения Одинцовского городского округа Московской области применительно к населенному пункту село Ромашково» // Администрация Одинцовского городского округа Московской области. — 2024. — [Электронный ресурс]. URL: <https://odin.ru/news/?id=74753> (дата обращения: 13.07.2025).

8. Постановление Администрации Одинцовского городского округа Московской области от 03.02.2025 № 508 «Об утверждении карты планируемого размещения объектов местного значения Одинцовского городского округа Московской области применительно к населенному пункту село Немчиновка» // Администрация Одинцовского городского округа Московской области. — 2025. — [Электронный ресурс]. URL: <https://odin.ru/news/?id=79718> (дата обращения: 13.07.2025).

9. Постановление Администрации Одинцовского городского округа Московской области от 07.03.2024 № 1313 «О внесении изменений в Правила землепользования и застройки территории (части территории) Одинцовского городского округа Московской области применительно к территориальной зоне КРТ-78» // Администрация Одинцовского городского округа Московской области. — 2024. — [Электронный ресурс]. URL:

<https://odin.ru/news/?id=75279> (дата обращения: 03.07.2025).

10. Решение Совета депутатов Одинцовского городского округа Московской области от 15.12.2021 № 12/31 «Об утверждении Генерального плана Одинцовского городского округа Московской области, за исключением территории бывшего городского округа Звенигород Московской области, и признании утратившими силу некоторых решений Совета депутатов» // Совет депутатов Одинцовского городского округа Московской области. — 2021. — [Электронный ресурс]. URL: <https://odin.ru/news/?id=64269> (дата обращения: 03.07.2025).

11. Копылова Е. В. Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока: дис. ... д-ра техн. наук, спец. 2.9.4. — М., 2021. — 324 с.

12. Косарева Н. Б., Гершович А. Я., и др. Долгосрочные тренды в экономике, жилищной и градостроительной сферах крупнейших городских агломераций России // Сборник Фонда «Институт экономики города». — М.: Фонд «Институт экономики города», 2023. — С. 84.

13. Махрова А. Г., Бабкин Р. А., Кириллов П. Л. Пространственно-временные особенности маятниковых миграций в Московском регионе // Журнал Новой экономической ассоциации. — 2024. — № 2(63). — С. 249–256.

14. В Подмоскovie запретили оплату наличными за проезд в общественном транспорте // ГКУ МО «Административно-пассажирская инспекция». — [Электронный ресурс]. URL: <https://apimo.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ministerstva/20-06-2022-12-22-04-v-podmoskove-zapretili-oplatu-nalichnymi-v-obshche> (дата обращения: 09.07.2025).

15. Расписание и билеты [Ромашково — Москва (Белорусский вокзал)] // АО «Центральная ППК». — [Электронный ресурс]. URL: <https://central-ppk.ru/new/schedule/?train=4,7,8,9,10,11,12,13,14> (дата обращения: 09.07.2025).

16. ЖК «Немчиновка» // Сервис «Квартира За МКАДом». — [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kvartirazamkad.ru/viewrealty/objectid/mkr-nemchinovka> (дата обращения: 04.07.2025).

17. ЖК «Немчиновка Резиденц» // Сервис «МскГуру». — [Электронный ресурс]. URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/938-zhk-nemchinovka-rezidents> (дата обращения: 04.07.2025).

18. ЖК «Ромашково» // Сервис «МскГуру». — [Электронный ресурс]. URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/180-romashkovo> (дата обращения: 04.07.2025).

19. ЖК «Рублевский» // Сервис «МскГуру». — [Электронный ресурс]. URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/693-rublevskij> (дата обращения: 04.07.2025).

20. NextGIS Data: пространственные данные для ваших проектов // NextGIS. — [Электронный

ресурс]. URL: <https://nextgis.ru/datasets/> (дата обращения: 07.07.2025).

21. УР-квартал «Западное Кунцево» // Сервис «МскГуру». — [Электронный ресурс]. URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/172-zapadnoe-kuntsevo> (дата обращения: 04.07.2025).

References

1. Itogi Vserossiiskoi perepisi naseleniya 2002 goda [Results of the 2002 All-Russian Population Census]: [Chislennost'; naseleniya Rossii, federal'; nykh okrugov, sub'ektov Rossiiskoi Federatsii, raionov, gorodskikh poselenii, sel'; skikh naselennykh punktov — raitsentrov i sel'; skikh naselennykh punktov s naseleniem 3 tysyachi i bolee chelovek] // Federal'; naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. — 2004. — URL: https://perepis2002.ru/ct/doc/1_TOM_01_04.xls (accessed: 08.07.2025).

2. Itogi Vserossiiskoi perepisi naseleniya 2010 goda [Results of the 2010 All-Russian Population Census]: [alfavitnyi spravochnik sel'; skikh naselennykh punktov Moskovskoi oblasti]. — Moscow: Territorial'; nyi organ Federal'; noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Moskovskoi oblasti, 2013. — Vol. III. — URL: <http://www.webcitation.org/6KVS8BfU> (accessed: 08.07.2025).

3. Itogi Vserossiiskoi perepisi naseleniya 2020 goda (po sostoyaniyu na 1 oktyabrya 2021 goda) [Results of the 2020 All-Russian Population Census (as of October 1, 2021)]: [Chislennost'; naseleniya Rossii, federal'; nykh okrugov, sub'ektov Rossiiskoi Federatsii, gorodskikh okrugov, munitsipal'; nykh raionov, munitsipal'; nykh okrugov, gorodskikh i sel'; skikh poselenii, gorodskikh naselennykh punktov, sel'; skikh naselennykh punktov s naseleniem 3000 chelovek i bolee] // Federal'; naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. — 2021. — URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/tab-5_VPN-2020.xlsx (accessed: 08.07.2025).

4. Zakon Moskovskoi oblasti ot 07.06.2022 № 85/2022-OZ «O vnesenii izmeneniya v Zakon Moskovskoi oblasti “Ob organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya na territorii Moskovskoi oblasti”» [Law of the Moscow Region dated 07.06.2022 № 85/2022-OZ “On amendments to the Law of the Moscow Region ‘; On the organization of transport services for the population in the territory of the Moscow Region’;”] // Sovet deputatov Moskovskoi oblastnoi Dumi. — URL: <https://mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/zakony/07-06-2022-16-39-35-zakon-moskovskoy-oblasti-85-2022-oz-o-vnesenii-izm> (accessed: 09.07.2025).

5. Reestr smezhnykh mezhregional'; nykh

marshrutov regulyarnykh perevozok mezhdurazmashkovo» [Resolution of the Administration of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 12.01.2024 № 62 “On approval of the Map of planned placement of local significance objects of Odintsovo Urban District of Moscow Region with regard to the settlement village Romashkovo”] // Administratsiya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2024. — URL: <https://odin.ru/news/?id=74753> (accessed: 13.07.2025).

6. Reestr smezhnykh mezhregional'; nykh marshrutov regulyarnykh perevozok mezhdurazmashkovo» [Resolution of the Administration of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 12.01.2024 № 62 “On approval of the Map of planned placement of local significance objects of Odintsovo Urban District of Moscow Region with regard to the settlement village Romashkovo”] // Administratsiya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2024. — URL: <https://odin.ru/news/?id=74753> (accessed: 13.07.2025).

7. Postanovlenie Administratsii Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti ot 12.01.2024 № 62 «Ob utverzhdenii Karty planiruемого razmeshcheniya ob'ektov mestnogo znacheniya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti primenitel'; no k naselennomu punktu selo Romashkovo» [Resolution of the Administration of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 12.01.2024 № 62 “On approval of the Map of planned placement of local significance objects of Odintsovo Urban District of Moscow Region with regard to the settlement village Romashkovo”] // Administratsiya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2024. — URL: <https://odin.ru/news/?id=74753> (accessed: 13.07.2025).

8. Postanovlenie Administratsii Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti ot 03.02.2025 № 508 «Ob utverzhdenii Karty planiruемого razmeshcheniya ob'ektov mestnogo znacheniya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti primenitel'; no k naselennomu punktu selo

Nemchinovka» [Resolution of the Administration of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 03.02.2025 № 508 “On approval of the Map of planned placement of local significance objects of Odintsovo Urban District of Moscow Region with regard to the settlement village Nemchinovka”] // Administratsiya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2025. — URL: <https://odin.ru/news/?id=79718> (accessed: 13.07.2025).

9. Postanovlenie Administratsii Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti ot 07.03.2024 № 1313 «O vnesenii izmenenii v Pravila zemlepol'zovaniya i zastroiki territorii (chasti territorii) Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti primenitel'no k territorial'noi zone KRT-78» [Resolution of the Administration of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 07.03.2024 № 1313 “On amendments to the Rules of land use and development of the territory (part of the territory) of Odintsovo Urban District of Moscow Region with regard to territorial zone KRT-78”] // Administratsiya Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2024. — URL: <https://odin.ru/news/?id=75279> (accessed: 03.07.2025).

10. Reshenie Soveta deputatov Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti ot 15.12.2021 № 12/31 «Ob utverzhdenii General'noy plana Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti, za isklyucheniem territorii byvshego gorodskogo okruga Zvenigorod Moskovskoi oblasti, i priznanii utrativshimi silu nekotorykh reshenii Soveta deputatov» [Decision of the Council of Deputies of Odintsovo Urban District of Moscow Region dated 15.12.2021 № 12/31 “On approval of the General Plan of Odintsovo Urban District of Moscow Region, excluding the territory of the former urban district Zvenigorod of Moscow Region, and recognition of some decisions of the Council of Deputies as invalid”] // Sovet deputatov Odintsovskogo gorodskogo okruga Moskovskoi oblasti. — 2021. — URL: <https://odin.ru/news/?id=64269> (accessed: 03.07.2025).

11. Kopylova E. V. Optimizatsiya prigorodnykh passazhirskikh perevozok na osnove organizatsii passazhiropotoka [Optimization of suburban passenger transportation based on passenger flow organization]: dis. ... d-ra tekhn. nauk, spets. 2.9.4. — Moscow, 2021. — 324 p.

12. Kosareva N. B. Dolgosrochnye trendy v ekonomike, zhilishchnoi i gradostroitel'noy sferakh krupneishikh gorodskikh aglomeratsii Rossii [Long-term trends in economy, housing and urban planning

spheres of the largest urban agglomerations of Russia] / N. B. Kosareva, A. Ya. Gershovich, et al. // Sbornik Fonda «Institut ekonomiki goroda». — Moscow: Fond «Institut ekonomiki goroda», 2023. — P. 84.

13. Makhrova A. G. Prostranstvenno-vremennyye osobennosti mayatnikovyykh migratsii v Moskovskom regione [Spatial and temporal features of commuting migrations in the Moscow region] / A. G. Makhrova, R. A. Babkin, P. L. Kirillov // Zhurnal Novoi ekonomicheskoi assotsiatsii. — 2024. — № 2(63). — P. 249–256.

14. V Podmoskov'ye zapretili oplatu nalichnymi za proezd v obshchestvennom transporte [Cash payment for public transport was banned in Moscow region] // GKU MO «Administrativno-passazhirskaya inspektsiya». — URL: <https://apimo.mosreg.ru/sobytiya/novosti-ministerstva/20-06-2022-12-22-04-v-podmoskove-zapretili-oplatu-nalichnymi-v-obshche> (accessed: 09.07.2025).

15. Raspisanie i bilety [Romashkovo — Moskva (Belorusskii vokzal)] [Schedule and tickets [Romashkovo — Moscow (Belorussky Station)]] // AO «Tsentr» naya PPK». — URL: <https://centralppk.ru/new/schedule/?train=4,7,8,9,10,11,12,13,14> (accessed: 09.07.2025).

16. ZhK «Nemchinovka» [Residential complex “Nemchinovka”] // Servis «Kvartira Za MKADom». — URL: <https://www.kvartirazamkad.ru/viewrealty/objectid/mkr-nemchinovka> (accessed: 04.07.2025).

17. ZhK «Nemchinovka Rezidents» [Residential complex “Nemchinovka Residence”] // Servis «MskGuru». — URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/938-zhk-nemchinovka-rezidents> (accessed: 04.07.2025).

18. ZhK «Romashkovo» [Residential complex “Romashkovo”] // Servis «MskGuru». — URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/180-romashkovo> (accessed: 04.07.2025).

19. ZhK «Rublevskii» [Residential complex “Rublevsky”] // Servis «MskGuru». — URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/693-rublevskij> (accessed: 04.07.2025).

20. NextGIS Data: prostranstvennyye dannyye dlya vashikh projektov [NextGIS Data: spatial data for your projects] // NextGIS. — URL: <https://nextgis.ru/datasets/> (accessed: 07.07.2025).

21. UP-kvartal «Zapadnoe Kuntsevo» [UP-quarter “Western Kuntsevo”] // Servis «MskGuru». — URL: <https://mskguru.ru/novostroyki/172-zapadnoe-kuntsevo> (accessed: 04.07.2025).

Статья получена 21.08.2025 | статья опубликована 18.09.2025

Article received 21.08.2025 | Article published 18.09.2025

Сведения об авторе	Information about the author
Бахарев Денис Сергеевич ведущий эксперт Центра транспортного планирования Института экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ Адрес: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 9/11 ORCID: 0009–0001–6857–6335 E-mail: dbaharev@hse.ru	Bakharev Denis Sergeevich Lead Expert of the Transport Planning Center, Institute of Transport Economics and Transport Policy, National Research University Higher School of Economics HSE University Address: HSE University, 101000, Moscow, Myasnitskaya Street, 9/11 ORCID: 0009–0001–6857–6335 E-mail: dbaharev@hse.ru

Приложение 1

"УТВЕРЖДАЮ"
И.о. директора МАП №6 г.Одинцово
В.В. Вагганов
2025 года
М.П.

Тарифная сетка
оплаты проезда безналичным расчетом посредством единой транспортной карты "Стрелка" транспортной карты "Тройка" на маршруте №597 Платформа Ромашково - Москва (м. Молодежная), работающего в режиме регулярных перевозок по регулируемым тарифам
Действует с "01" июня 2025 года.

ЖК "Западное Кунцево"									
1.934	63	63	63	63	63	63	63	63	63
2.911	63	63	63	63	63	63	63	63	63
3.866	63	63	63	63	63	63	63	63	63
4.73	63	63	63	63	63	63	63	63	63
5.339	72	63	63	63	63	63	63	63	63
5.753	72	63	63	63	63	63	63	63	63
6.421	72	63	63	63	63	63	63	63	63
6.89	72	63	63	63	63	63	63	63	63
7.36	81	72	63	63	63	63	63	63	63
8.14	81	72	72	63	63	63	63	63	63
9.121	81	72	72	72	63	63	63	63	63

стоимость провоза 1 места багажа:
до 25 км - 63 руб.
от 25 до 50 - 126 руб.
свыше 50 - 189 руб.

Зам. директора по перевозкам Э.В. Богомолов
Зам. директора по экономике Е.А. Чирюкина

"УТВЕРЖДАЮ"
И.о. директора МАП №6 г.Одинцово
В.В. Вагганов
2025 года
М.П.

Тарифная сетка
оплаты проезда безналичным расчетом посредством единой транспортной карты "Стрелка" транспортной карты "Тройка" на маршруте №597-2 ЖК "Западное Кунцево" - Москва (м. Молодежная), работающего в режиме регулярных перевозок по регулируемым тарифам
Действует с "01" июня 2025 года.

ЖК "Западное Кунцево"									
0.548	63	63	63	63	63	63	63	63	63
0.864	63	63	63	63	63	63	63	63	63
1.14	63	63	63	63	63	63	63	63	63
2.346	63	63	63	63	63	63	63	63	63
3.711	63	63	63	63	63	63	63	63	63
3.938	63	63	63	63	63	63	63	63	63
5.421	72	63	63	63	63	63	63	63	63
5.536	72	72	72	63	63	63	63	63	63
6.43	72	72	72	63	63	63	63	63	63
7.298	72	72	72	72	63	63	63	63	63
7.561	81	72	72	72	72	63	63	63	63
8.437	81	81	81	72	72	63	63	63	63
8.817	81	81	81	72	72	72	63	63	63
9.768	81	81	81	81	72	72	72	63	63

до 25 км - 63 руб.
от 25 до 50 - 126 руб.
свыше 50 - 189 руб.

Зам. директора по перевозкам Э.В. Богомолов
Зам. директора по экономике Е.А. Чирюкина

Рис. 15. Тарифные сетки черного маршрута № 597 (верхняя) и маршрута № 597М (нижняя).
Источник: архив автора

Примечание: согласно официально размещенной тарифной сетке маршрут № 597М подразумевается как альтернатива черного маршрута № 597 и обозначается № 597-2.

Приложение 2



*Рис. 16. Способы оплаты на красном маршруте № 597.
Источник: архив автора*

Приложение 3

Таблица 7

Анализируемые МВН

МВН ID	Маршрут_ID	Вариант	Направление	М В Н	Источник	Дата публикации источника
1	1	0	0	1 - 0 - 0	Замер автора	29.01.2025
2	1	0	1	1 - 0 - 1	Замер автора	29.01.2025
3	1	1	0	1 - 1 - 0	Реестр г. Москвы	01.09.2024 ⁷ / 07.05.2025 ⁸
4	1	1	1	1 - 1 - 1	Реестр г. Москвы	01.09.2024 / 07.05.2025
5	1	2	0	1 - 2 - 0	Реестр г. Москвы	01.09.2024 / 07.05.2025
6	1	2	1	1 - 2 - 1	Реестр г. Москвы	01.09.2024 / 07.05.2025
7	1	3	1	1 - 3 - 1	Реестр Московской области	09.04.2024 / 01.07.2025
8	1	3	0	1 - 3 - 0	Реестр Московской области	09.04.2024 / 01.07.2025
9	2	0	0	2 - 0 - 0	Замер автора	24.01.2025
10	2	0	1	2 - 0 - 1	Замер автора	24.01.2025

Источник: сбор данных, анализ и разработка автора, [5, 6]

Примечание 1: в данной таблице применяется следующая категоризация для направлений: 0 — направление из Москвы в Московскую область (прямо) и 1 — обратно; числовое обозначение вариантов трасс следований обозначает количество всевозможных трассировок, по которым может следовать транспортное средство по маршруту.

Примечание 2: необходимо помнить, что согласно федеральному закону «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 № 220-ФЗ, маршрут может фигурировать в обоих реестрах, если начальный остановочный пункт по маршруту установлен на территории одного или другого субъекта.

⁷ Здесь и далее в таблице для МВН_ID 3-8 первая дата — дата публикации старой версии реестра.

⁸ Здесь и далее в таблице для МВН_ID 3-8 вторая дата — дата публикации новой версии реестра.

Приложение 4

Таблица 8.1

Сравнительный анализ МВН в обоих направлениях «по-остановочно»

Последовательность ОП	Маршрут № 597			
	Из Москвы в Московскую область			
	1-0-0	1-1-0	1-2-0	1-3-1
1	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»
2		Ул. Маршала Сергеева	Ул. Маршала Сергеева	Кинотеатр «Брест» (ныне — Ул. Маршала Сергеева)
3	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского
4	Ул. Боженко, 12	Ул. Боженко, 12	Магазин «Мебель» (ныне — Ул. Боженко, 12)	Магазин «Мебель» (ныне — Ул. Боженко, 12)
5	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»
6	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 13 (ныне — Ул. Горбунова, 9)
7	Ул. Горбунова, МКАД	Завод «Электроштит» (ныне — Ул. Горбунова, МКАД)	Завод «Электроштит» (ныне — Ул. Горбунова, МКАД)	Завод «Электроштит» (ныне — Ул. Горбунова, МКАД)
8	ТЦ «Твой дом» (неофициальное наименование (далее — н. н.) «Авторынок» / «Рынок»)			ТЦ «Кунцево» (ныне — ТЦ «Твой дом»)
9	Немчиновка (н. н. «Вторая проходная» / «Вторые ворота»)	Немчиновка	Немчиновка	
10	Ул. 1-я Запрудная			
11	14-й просек			
12	Ул. Связистов, 1			
13	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект
14	Ул. Советский проспект, 108	Ул. Советский проспект, 108	Ул. Советский проспект, 108	
15	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково
16		ЖК «Западное Кунцево»	ЖК «Западное Кунцево»	ЖК «Западное Кунцево»
Количество ОП	14	12	12	11
Протяженность МВН (км)	6,62	8,4	9,0	11,6
Интервал движения (мин.)	Красный маршрут: 15–20 минут / Черный маршрут: 45–60 минут			
Среднее время в пути в утренний час пик (мин.)	18			

Таблица 8.2

Последовательность ОП	Сравнительный анализ МВН в обоих направлениях «по-остановочно» Маршрут № 597			
	Из Московской области в Москву			
	1-0-1	1-1-1	1-2-1	1-3-0
1		ЖК «Западное Кунцево»	ЖК «Западное Кунцево»	ЖК «Западное Кунцево»
2	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково	Платформа Ромашково
3	Ул. Советский проспект, 108	Ул. Советский проспект, 108	Ул. Советский проспект, 108	
4	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект, 102	Ул. Советский проспект
5	Улица Связистов, 1			
6	14-й просек			
7	1-я Запрудная улица			
8	Немчиновка (н. н. «Вторая проходная» / «Вторые ворота»)	Немчиновка	Немчиновка	
9	ТЦ «Твой дом» (н. н. «Авторынок» / «Рынок»)			
				ТЦ «Кунцево» (ныне — Немчиновка)
10	Ул. Горбунова, МКАД	Завод «Электрощит»	Завод «Электрощит»	Завод «Электрощит»
11	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 9	Ул. Горбунова, 13 (ныне — Ул. Горбунова, МКАД)
12	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»	МЦД «Сетунь»
13	Ул. Горбунова	Ул. Горбунова	Ул. Горбунова	Ул. Горбунова
14	Ул. Боженко, 12	Ул. Боженко, 12	Магазин «Мебель» (ныне — Ул. Боженко, 12)	Магазин «Мебель» (ныне — Ул. Боженко, 12)
15	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского	Храм Иоанна Русского
16		Ул. Маршала Сергеева	Ул. Маршала Сергеева	Кинотеатр «Брест» (ныне — Ул. Маршала Сергеева)
17	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»	м. «Молодежная»
Количество ОП	15	13	13	12
Протяженность МВН (км.)	7,0	8,4	9,0	11,6
Интервал движения (мин.)	Красный маршрут: 15–20 минут / Черный маршрут: 45–60 минут			
Среднее время в пути в утренний час пик (мин.)	23,5			

Таблица 8.3

Сравнительный анализ МВН в обоих направлениях «по-остановочно»

Последовательность ОП	Маршрут № 597М	
	Из Москвы в Московскую область	Из Московской области в Москву
	2-0-0	2-0-1
1	м. «Молодежная»	ЖК «Западное Кунцево»
2	Храм Иоанна Русского	Центральная улица
3	Ул. Боженко, 12	ЖК «Ромашково»
4	МЦД «Сетунь»	Ул. Кандинского
5	Ул. Горбунова, 9	ЖК «Ольховка»
6	Ул. Горбунова, МКАД	Проспект Революции
7	ТЦ «Твой дом» (н. н. «Авторынок» / «Рынок» / «Автотехцентр»)	МЦД «Немчиновка»
8	Немчиновка (н. н. «Вторая проходная» / «Вторые ворота»)	Почта
9	1-я Запрудная улица	Администрация
10	Администрация	1-я Запрудная улица
11	МЦД «Немчиновка»	Немчиновка (н. н. «Вторая проходная» / «Вторые ворота»)
12	Проспект Революции	ТЦ «Твой дом» (н. н. «Авторынок» / «Рынок» / «Автотехцентр»)
13	ЖК «Ольховка»	Улица Горбунова, МКАД
14	Ул. Кандинского	Ул. Горбунова, 9
15	ЖК «Ромашково»	МЦД «Сетунь»
16	Центральная улица	Ул. Горбунова
17	ЖК «Западное Кунцево»	Ул. Боженко, 12
18		Храм Иоанна Русского
19		м. «Молодежная»
Количество ОП	17	19
Протяженность МВН (км)	9,11	9,47
Интервал движения (мин.)	7	7
Среднее время в пути в утренний час пик (мин.)	26,5	29

Источник: сбор данных, анализ и разработка автора, [5, 6]

Приложение 5

Таблица 9

Оценка обустройства ОП по анализируемым МВН

Обустройство зоны пассажирообмена												
№	Наименование ОП	Lat (Y)	Long (X)	Наличие остановочной площадки	Наличие посадочной площадки	Наличие дорожного знака 5.16	Наличие навильона от непогоды с крышей	Наличие вывески с наименованием ОП	Наличие скамьи для пассажиров	Наличие урны	Σ баллов	% от макс.
1	м. «Молодежная»	55.741411	37.415025	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
2	м. «Молодежная»	55.740730	37.415561	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
3	Храм Иоанна Русского	55.734559	37.406338	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
4	Храм Иоанна Русского	55.734744	37.407246	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
5	Ул. Боженко, 12	55.731678	37.405316	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
6	Ул. Боженко, 12	55.731784	37.405891	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
7	МЦД «Сестунь»	55.724633	37.396327	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
8	МЦД «Сестунь»	55.724997	37.397961	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
9	Ул. Горбунова	55.726459	37.404583	1	1	1	0	0	0	0	3	43%
10	Ул. Горбунова, 9	55.722904	37.387415	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
11	Ул. Горбунова, 9	55.722534	37.388995	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
12	Ул. Горбунова, МКАД	55.723474	37.383470	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
13	Ул. Горбунова, МКАД	55.723304	37.383105	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
14	ТЦ «Твой дом»	55.723705	37.378052	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
15	ТЦ «Твой дом»	55.723515	37.377989	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
16	Немчиновка	55.723934	37.373631	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
17	Немчиновка	55.723518	37.373422	1	1	1	1	0	1	1	6	86%
18	1-я Запрудная улица	55.723589	37.367301	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
19	1-я Запрудная улица	55.723522	37.367245	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
20	1-я Запрудная улица	55.723411	37.367404	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
21	1-я Запрудная улица	55.723418	37.367568	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
22	Администрация	55.719720	37.367402	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
23	Администрация	55.719826	37.367730	0	0	0	0	0	0	0	0	0%

Обустройство зоны пассажирообмена

№	Наименование ОП	Lat (Y)	Long (X)	Наличие основной площадки	Наличие посадочной площадки	Наличие дорожного знака 5.16	Наличие навильона от непогоды с крышей	Наличие вывески с наименованием ОП	Наличие скамьи для пассажиров	Наличие урны	Σ баллов	% от макс.
24	Почта	55.718249	37.368552	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
25	МЦД «Немчиновка»	55.715311	37.372106	0	1	0	1	1	1	1	5	71%
26	МЦД «Немчиновка»	55.715244	37.372232	1	1	0	1	1	1	1	6	86%
27	Проспект Революции	55.719115	37.352684	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
28	Проспект Революции	55.719275	37.351732	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
29	ЖК «Ольховка»	55.720041	37.349502	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
30	ЖК «Ольховка»	55.719968	37.349781	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
31	Ул. Кандинского	55.722411	37.343456	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
32	Ул. Кандинского	55.721759	37.343924	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
33	ЖК «Ромашково»	55.726172	37.331632	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
34	ЖК «Ромашково»	55.726855	37.330600	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
35	Центральная улица	55.728891	37.331818	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
36	Центральная улица	55.729194	37.332415	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
37	ЖК «Западное Кунцево»	55.727504	37.338770	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
38	Платформа Ромашково	55.734965	37.346311	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
39	Платформа Ромашково	55.735166	37.346078	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
40	Ул. Советский проспект, 108	55.727825	37.352407	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
41	Ул. Советский проспект, 108	55.727769	37.352192	1	1	1	1	1	1	1	7	100%
42	Ул. Советский проспект, 102	55.725796	37.352572	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
43	Ул. Советский проспект, 102	55.725587	37.352443	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
44	Ул. Связистов, 1	55.723376	37.355104	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
45	Ул. Связистов, 1	55.723315	37.356002	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
46	14-й просек	55.723463	37.360241	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
47	14-й просек	55.723366	37.360166	0	0	0	0	0	0	0	0	0%

Источник: сбор данных, анализ и разработка автора, [5, 6]

