

Научная статья
УДК 656.13
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-786-802>
EDN: ONDBUU



ЭВОЛЮЦИЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ Г. МОСКВЫ

Р.В. Филиппова¹ ✉, И.А. Феньков²

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
ГГУП «Мосгортранс»,
г. Москва, Россия*

*²ГКУ «Организатор перевозок»,
г. Москва, Россия*

*✉ ответственный автор
filippovaRV@transport.mos.ru*

АННОТАЦИЯ

Введение. Ежедневно все виды городского пассажирского транспорта общего пользования г.Москвы перевозят около 17,81 млн пассажиров. В рамках реализации масштабной транспортной реформы, намеченной до 2030 г., планируется модернизация всех компонентов транспортной инфраструктуры. Целью реформы является повышение эффективности, безопасности и экологичности транспортной системы столицы.

Материалы и методы. В условиях глобальной турбулентности мероприятия по адаптации транспортной инфраструктуры, системы общественных перевозок и обеспечения оптимальных условий дорожного движения определяют путь устойчивого развития мегаполисов и их способность эффективно подстраиваться и к происходящим изменениям климата. В г. Москве выбран путь декарбонизации и перехода на низкоуглеродные виды транспорта – электробусы. Новые электробусы адаптированы к прогнозируемым климатическим изменениям, в том числе обеспечена техническая возможность безаварийной работы в диапазоне температур от -40 до + 40 0 С.

Результаты. В статье авторы анализируют перспективы и сложности внедрения данного вида транспорта в транспортную систему столицы с учетом технических, экологических и эксплуатационных особенностей самого подвижного состава и обеспечения соответствующей транспортной инфраструктуры. В статье также показаны пропускная способность и динамика развития зарядной инфраструктуры, в том числе ультрабыстрых зарядных станций. Для исключения сбоев в движении электробусов на маршрутах важно перераспределять транспортные средства по зарядным станциям, что позволит минимизировать риски простоев и образования очередей.

Обсуждение и заключение. В завершение статьи авторы определяют перечень основных мероприятий по адаптации транспортного комплекса г. Москвы к климатическим изменениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электробус, адаптация к изменениям климата, декарбонизация, выбросы парниковых газов, транспортная инфраструктура

Статья поступила в редакцию 29.08.2025; одобрена после рецензирования 07.10.2025; принята к публикации 21.10.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Филиппова Р.В., Феньков И.А. Эволюция декарбонизации наземного городского пассажирского транспорта общего пользования г. Москвы // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 5. С. 786-802. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-786-802>

© Филиппова Р.В., Феньков И.А., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-786-802>
EDN: ONDBUU

DECARBONIZATION EVOLUTION OF GROUND URBAN PASSENGER TRANSPORT IN MOSCOW

Rimma V. Filippova¹ ✉, Ivan A. Fen'kov²

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, State Unitary Enterprise “Mosgortrans”, Moscow, Russia

² Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, State Budgetary Institution “Organizer of Transportation”, Moscow, Russia

✉ corresponding author
filippovaRV@transport.mos.ru

ABSTRACT

Introduction. All types of urban public transport in Moscow carry about 17.81 million passengers on a daily basis. As part of the large-scale transport reform realization planned until 2030, it is intended to modernize all components of the transport infrastructure. The aim of the reform is to increase the efficiency, safety and environmental friendliness of the capital's transport system.

Materials and Methods. In the context of global turbulence, measures to adapt the transport infrastructure, public transportation systems, and ensure optimal traffic conditions determine the path for the sustainable development of megacities and their ability to adapt to climate change effectively. Moscow has chosen the way of decarbonization and the transition to low-carbon modes of transport - electric buses. The new electric buses are adapted to the predicted climate changes, including ensuring the technical possibility of trouble-free operation in the temperature range from -40°C to + 40 °C.

Results. In the article, the authors analyze the prospects and difficulties of introducing this type of transport into the transport system of the capital, taking into account the technical, environmental and operational characteristics of the rolling stock itself and the provision of appropriate transport infrastructure. The article also shows the flow capacity and dynamics of charging infrastructure development, including ultra-fast charging stations. To avoid disruptions in the movement of electric buses on routes, it is important to redistribute vehicles among charging stations, which will minimize the risks of downtime and queues.

Discussions and Conclusion. At the end of the article, the authors define a list of the main measures to adapt Moscow transport complex to climate change.

KEYWORDS: electric bus; climate change adaptation; decarbonization; greenhouse gas emissions; transport infrastructure

The article was submitted: August 29, 2025; approved after reviewing: October 7, 2025; accepted for publication: October 21, 2025.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Filippova R.V., Fen'kov I.A. Decarbonization evolution of ground urban passenger transport in Moscow. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2025; 22(5): 786-802. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-5-786-802>

© Filippova Rimma V., Fen'kov Ivan A., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Москва, площадью порядка 2,5 тыс. км², – один из крупнейших мегаполисов мира с 13-миллионным населением, характеризующимся плотной городской застройкой, развитой транспортной системой, промышленностью и коммунально-инженерной инфраструктурой.

По данным научных исследований, за последнее десятилетие в столице наблюдается усиление экстремальности климата: аномальная жара, создающая дополнительный риск заболеваемости и смертности населения; резкие изменения погоды и переходы через ноль; увеличение количества неблагоприятных метеорологических явлений; увеличение количества дней с ослабленными условиями рассеивания, которые приводят к повышению уровня загрязнения воздуха в городе¹ [1, 2]. Кроме того, вклад существующего транспорта в выбросы в атмосферу Москвы составляет более 80%, выбросы от транспорта составили 207 тыс. т в 2024 г. по причинам, связанным, в частности большим пробегом транспортных средств, высокой мощностью двигателя, использованием преимущественно дизельного топлива, старением автопарка машин. Вклад от автобусов в выбросы основных загрязняющих веществ составляет от 3 до 23%.

Так, в структуре автобусного парка городских перевозчиков и иных организаций г. Москвы, где доля автопарка крупнейшего городского перевозчика ГУП «Мосгортранс» составляет 22%, 74% автобусов используют в качестве основного топлива – дизельное.

В целях регулирования выбросов от автобусов в транспортной системе столицы принято решение о переходе городского наземного пассажирского транспорта на электробусы городских (коммерческих) перевозчиков, оказывающих услуги перевозки на основании государственных контрактов.

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2025 г. № 908-р, в целевом сценарии развитие альтернативного транспорта будет способствовать сокращению темпов роста спроса на автомо-

бильный бензин и дизельное топливо и диверсификации автопарка за счет роста доли электротранспорта, автомобилей на газомоторном топливе и в перспективе на водородном топливе с 1 до 14%. При этом для повышения уровня использования электромобилей субъектам Российской Федерации рекомендуется установить минимальные доли таких автомобилей в составе парков транспортных средств перевозчиков, выполняющих регулярные перевозки пассажиров и багажа, и организаций с государственным участием (Методические рекомендации по стимулированию использования электромобилей и гибридных автомобилей в субъектах Российской Федерации, утвержденные распоряжением Минтранса России от 25 мая 2022 г. № АК-131-р).

Стабильность работы социально значимой транспортной системы во многом также зависит от многочисленных климатических показателей. Объекты транспортной системы по-разному подвержены воздействию различных климатических факторов. Влияние сезонных погодных перемен приводит к рискам нарушения работы транспортной инфраструктуры, режима ее функционирования и безопасности дорожного движения². В таблице 1 предоставлено воздействие климатических факторов на городской пассажирский транспорт Москвы.

Цель научных исследований авторов – снижение уязвимости транспортной системы г. Москвы к происходящим изменениям климата в условиях высокого загрязнения окружающей среды и чрезмерного потребления природных ресурсов.

Задачи, поставленные авторами в данной статье:

Показать влияние изменяющихся климатических факторов на транспортную систему г. Москвы. В частности, наземного городского пассажирского транспорта.

Представить в графическом виде зависимость задержек движения (в % от плана рейсов) от температурного режима воздуха за определенный период времени.

Выявить зависимость потерь по бракам электробусов от температуры воздуха.

¹ План мероприятий по адаптации города Москвы к климатическим изменениям. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, г. Москва, 2023, с. 3.

² План мероприятий по адаптации города Москвы к климатическим изменениям. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, г. Москва, 2023, с. 23.

Таблица 1
Воздействие различных климатических факторов на транспортные системы г. Москвы
 Источник: составлено авторами.

Table 1
Impact of various climatic factors on Moscow transport systems
 Source: compiled by the authors.

Вид транспорта (объект влияния)	Климатический фактор	Неблагоприятное воздействие
Легковой пассажирский транспорт	Экстремальные температуры, волны жары, «застои» воздуха, повышенное содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, неблагоприятная роза ветров, шквалистый ветер, сильный снегопад, ливневые осадки, град, подтопление территорий, наводнения, сильный ветер, снег с дождем, увеличение эрозии почвы, гололед, изморозь, ураган	Рост потребления топлива для кондиционирования
		Ухудшение условий дорожного движения
		Повреждение автомобилей
Наземный городской пассажирский транспорт общего пользования		Рост нагрузки на НГПТ ОП вследствие невыезда части личного легкового парка, в том числе каршеринга. Увеличение интервалов движения, сбой в графике движения
		Повреждение подвижного состава, дорожного полотна и транспортной инфраструктуры
		Сбой в графике движения
Рельсовый транспорт	Деформация рельсов	
	Рост рисков разрыва проводов из-за налипания снега и наледи	
	Затруднение или прекращение движения в результате преграждения дорожного полотна упавшими конструкциями и деревьями, повышение рисков ДТП, разрыв питающих проводов	

Определить детальное распределение потока ТС на зарядной станции в будние дни в часы пик.

Провести анализ плановых расписаний для маршрутов электробусов и определить максимальное количество ТС, которые возможно заряжать на 1 УБЗС.

Показать значимость и необходимость разработки и реализации дополнительных мер по сокращению уязвимости транспортной системы от влияния погодно-метеорологических и климатических факторов.

Оценка климатических рисков в отраслях экономики осуществляется в рамках отраслевых планов адаптации. В отношении объектов транспортной инфраструктуры планом адаптации в области транспорта, утвержденным приказом Минтранса России от 02.03.2022 № 69, предусмотрено утверждение отраслевой методики расчета рисков и оценки послед-

ствий изменения климата, а также формирование перечня объектов транспортной инфраструктуры федерального значения, уязвимых к последствиям изменения климата. Данная методика до настоящего времени не утверждена. Соответственно, вопросы адаптации транспортных систем городов к изменениям климата являются предметом научных и экспертных исследований. Моделирование качественных и количественных выгод и ущерба транспортной инфраструктуре и деятельности городского пассажирского транспорта г. Москвы от климатических изменений как комплексный инструмент позволит оценить существующие и последующие результаты климатических изменений на транспортную систему столицы и принимать взвешенные заблаговременные решения с учетом климатических рисков.

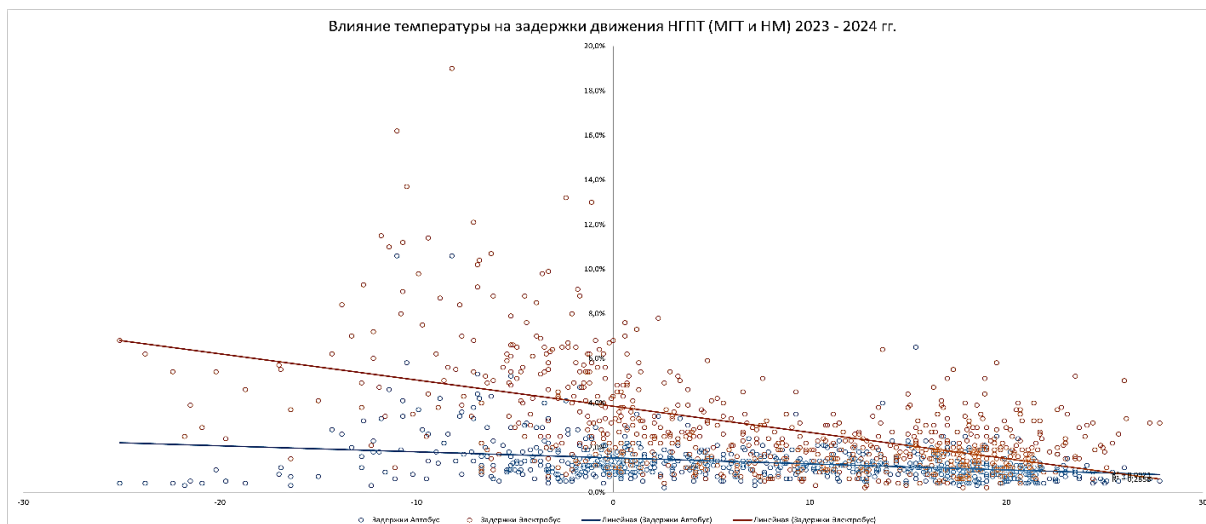


Рисунок 1 – Влияние температуры на задержки движения НГПТ в г. Москве
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Temperature influence on delays of ground urban passenger transport in Moscow
Source: compiled by the authors.

В статье авторы показывают, что одной из практических выгод может выступать научный подход к анализу маршрутов и статистики потерь по задержкам движения в результате изменений климата, по итогам которого может проводиться эффективная корректировка перераспределения выпуска транспортных средств между маршрутами и зарядными станциями без дополнительных затрат.

Основные климатические факторы г. Москвы, оказывающие влияния на количество ДТП: количество дней с экстремально высокими и низкими температурами; количество дней с резкими перепадами температуры; дни с осадками > 0,1 мм; дни с метелью, с гололёдом, с дымкой, с грозой и ливневыми осадками³.

Общая корреляция зависимости показала, что влияние изменяющихся климатических факторов на возникновение ДТП, задержек и сбоев в движении наземного городского пассажирского транспорта является умеренным, но свидетельствует о необходимости дополнительных мер по сокращению уязвимости транспортной системы от влияния погодных-метеорологических и климатических факторов.

На рисунке 1 представлена зависимость потерь по задержкам движения (в % от плана

рейсов) от температуры (в градусах по оси X) за 2023–2024 гг.

График построен в разрезе видов ТС: автобус (дизельные и газовые) и электробус. Каждая точка на графике – процент потерь в определенный день при средней температуре в этот день. Линия на графике – общий тренд. На графике можно наблюдать точки с высоким % задержек, связанных с различными погодными аномалиями (снегопады, обильные дожди и т.п.), а также событиями в городе, не связанными с погодой (перекрытия, ремонты и т.п.). Так, например, 13.12.2023 г. (процент задержек по электробусам – 13,7%) был обильный снегопад, что вызвало аномальные пробки в городе. Несмотря на локальные точки аномального роста задержек, общий тренд показывает, что зависимость задержек движения автобусов от температуры незначительная. Прослеживается зависимость задержек на электробусах от температуры (чем теплее, тем меньше сбоев). Основная причина – сбой в работе УБЗС⁴ [5].

Кроме того, температура воздуха влияет на такое событие как потери по техническим причинам и на рисунке 2 отражена данная зависимость температуры (в градусах по оси X) от потерь по технике (% от плана рейсов по оси Y) за 2023–2024 гг.

³ План мероприятий по адаптации города Москвы к климатическим изменениям. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, г. Москва, 2023г., с. 7.

⁴ Внутренний отчет Транспортного комплекса города Москвы за 2024 год, г. Москва, с.33.

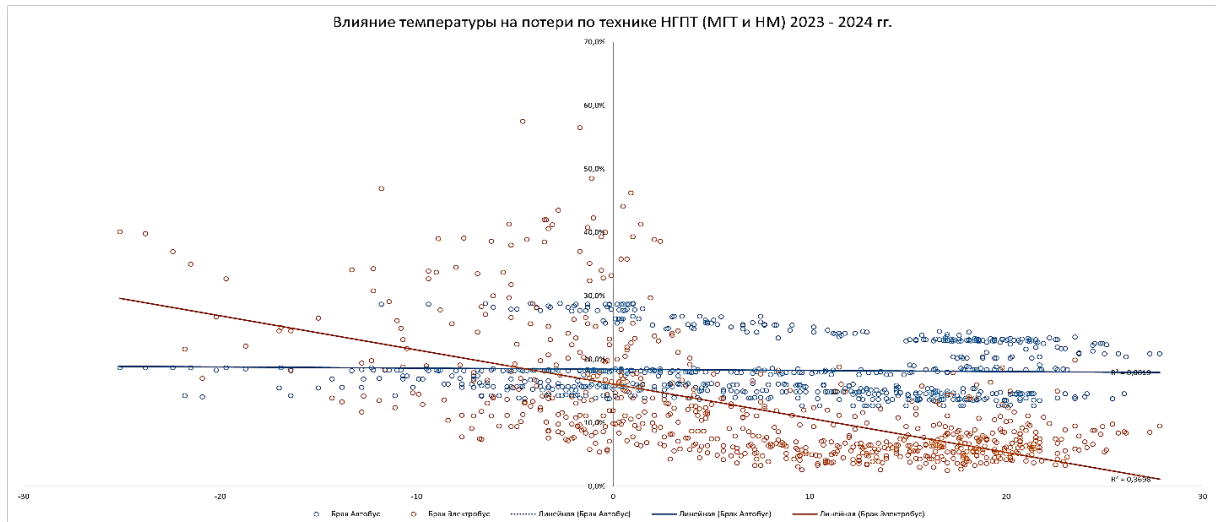


Рисунок 2 – Влияние температуры на потери по технике НГПТ в г. Москве
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Temperature influence on losses of ground urban passenger transport in Moscow
Source: compiled by the authors.

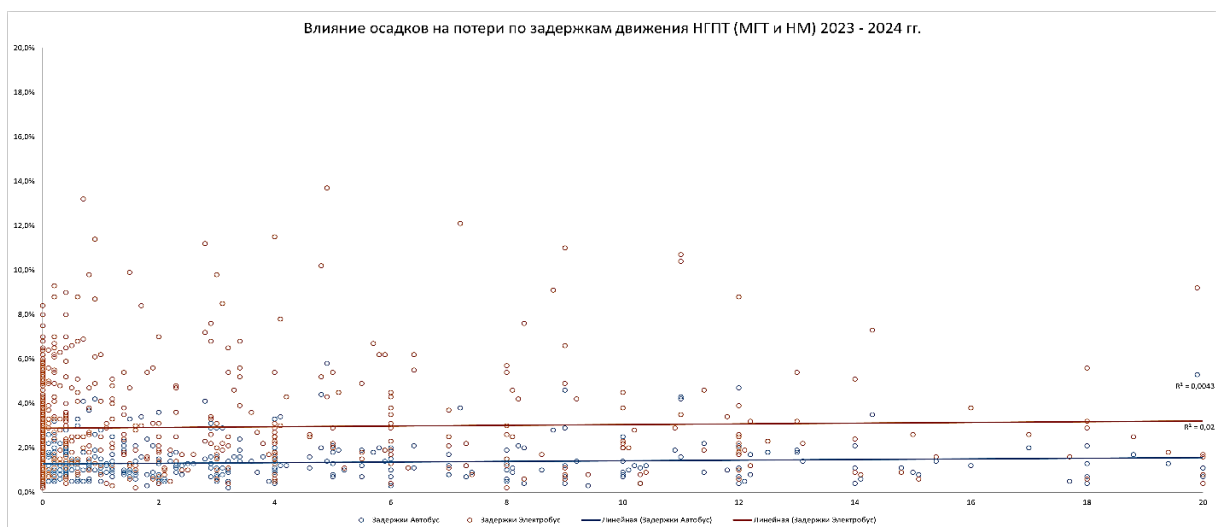


Рисунок 3 – Влияние осадков на потери по задержкам движения НГПТ в г. Москве
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Precipitation influence on losses because of the delays of ground urban passenger transport in Moscow
Source: compiled by the authors.

График построен в разрезе видов ТС: автобус (дизельные и газовые) и электробус. Каждая точка на графике – процент потерь в определенный день при средней температуре в этот день. Линия на графике – общий тренд. На графике можно наблюдать точки с высоким % потерь по технике, связанных с различными погодными аномалиями (снегопады, обильные дожди и т.п.) и другими причинами. Так, например, 19.12.2024 г. (процент потерь по технике у электробусов – 46,9%, у автобусов

– 28,7%) был снегопад и гололедица, что вызвало аномальные пробки в городе. Несмотря на локальные точки аномального роста потерь по браку, общий тренд показывает, что зависимость потерь по бракам автобусов от температуры незначительная. Прослеживается зависимость потерь по бракам электробусов от температуры (чем теплее, тем меньше сбоев). Возможные причины – сбои в работе батареи и электроники⁶.

Такие погодные явления как осадки (снегопады, обильные дожди и т.п.) также могут влиять на движение наземного городского транспорта, что демонстрирует рисунок 3.

На графике «Влияние осадков на потери по задержкам движения НГПТ» представлена зависимость количества осадков (в мм по оси X) от потерь по задержкам движения (% от плана рейсов по оси Y) за 2023–2024 гг. Анализ зависимости потерь по бракам от осадков не проводился, так как зависимость данных показателей слабая. График построен в разрезе видов ТС: автобус (дизельные и газовые) и электробус. Каждая точка на графике – процент потерь в определенный день при суммарном количестве осадков в этот день. Линия на графике – общий тренд. Зависимость задержек движения от осадков не прослеживается на большом промежутке времени. Есть локальные зависимости, например, в периоды, когда осадки вызывают подтопления улиц или сильные снегопады вызывают пробки, но на общей линии тренда это не сказывается.

Также комплекс неблагоприятных климатических факторов оказывает существенное влияние на здоровье человека. Каждый фактор отдельно или комбинация нескольких могут усугубить течение имеющихся заболеваний: органов дыхания, инфекционных, сердечно-сосудистой системы, пищеварительной системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Способность мегаполисов адаптироваться к происходящим изменениям климата в условиях высокого загрязнения окружающей среды и чрезмерного потребления природных ресурсов существенно определяет путь их дальнейшего устойчивого развития. В части городских транспортных систем современные мегаполисы выбирают путь масштабного внедрения низкоуглеродного транспорта – электробусов⁵ [3, 4, 5].

Новые электробусы, эксплуатируемые в городе Москве, адаптированы к прогнозируемым климатическим изменениям, в том числе обеспечена техническая возможность безаварийной работы в диапазоне температур от -40 до +40 °C [6].

Внедрение такого вида наземного городского пассажирского транспорта становится

одним из приоритетных направлений модернизации транспортной системы. Среди ключевых технологических преимуществ электробусов и идентификации электробусов с точки их экологических характеристик стоит отметить отсутствие прямых выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ, низкий уровень шума, более простое техническое обслуживание и их высокую энергоэффективность.

Согласно исследованиям отечественных специалистов в области электротранспорта электробусы обладают значительным потенциалом для решения транспортных проблем мегаполисов [5, 7, 8].

Комплексное изучение практического применения электробусов, включающее всевозможные проекты внедрения в различных климатических условиях, параметры эксплуатации, специфику их технического обслуживания, а также особенности зарядной инфраструктуры, позволяет сформировать понимание потенциала внедрения и развития электробусов в мегаполисах [9, 10, 11].

После запуска электробусного маршрута проводится мониторинг по нескольким показателям, таким как выполнение транспортной работы, пунктуальность и пассажиропоток. Так, например, в результате анализа маршрута и статистики потерь по задержкам движения проводится корректировка скорости на маршруте, что позволяет либо повысить эффективность, либо уровень сервиса (в случае корректировки с целью снижения потерь). Другой вариант корректировки расписания – это перераспределение выпуска между маршрутами, например, при инфраструктурных изменениях и изменениях городской застройки.

При переходе на электробусы необходимо учитывать особенности формирования расписания, поэтому важно принимать в расчет потери производственного времени на зарядку, так как может потребоваться увеличение выпуска на маршруте для сохранения сервиса при переходе на электробусы.

В последние годы наблюдается рост внедрения электробусов в транспортную систему столицы [6, 9, 11]. На рисунке 4 представлена динамика ввода электробусов в транспортную систему г. Москвы.

⁵ Внутренний отчет Транспортного комплекса города Москвы за 2023 год, г. Москва, с.17, с. 25.

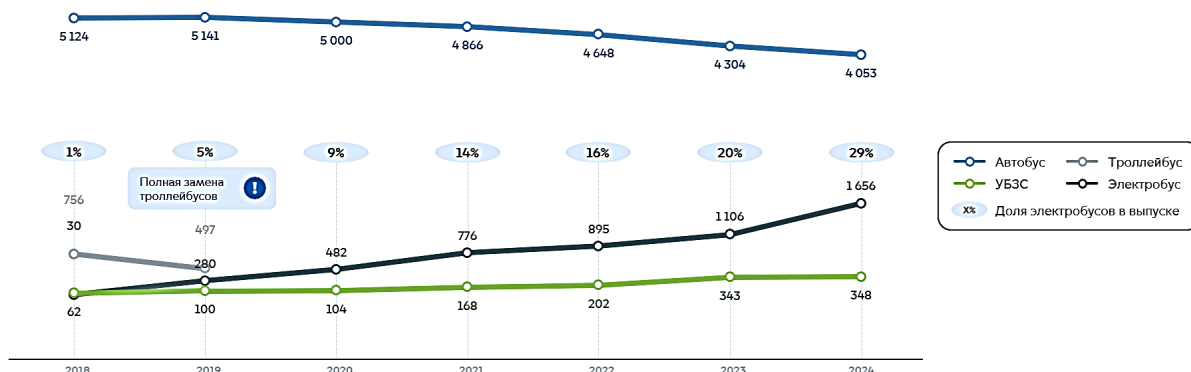


Рисунок 4 – Динамика роста количества электробусов в г. Москве
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Growth dynamics of the number of electric buses in Moscow
Source: compiled by the authors.

Ежедневно в г. Москве на маршруты выходит свыше 2 350 электробусов, обслуживающих 217 маршрутов общей протяженностью более 3000 км, где среднесуточный пассажиропоток 1 млн чел., а с начала работы количество перевезенных пассажиров составляет более 500 млн чел.^{6, 7}.

В планы развития электробусного парка до 2030 г. входит значительное расширение парка до 6000 ед. транспортных средств, что предполагает увеличение существующего парка на 3 700 электробусов. Для более эффективного внедрения новых единиц необ-

ходимо грамотно выстраивать и планировать будущую маршрутную сеть.

Вместе с тем появляется потребность в развитии и модернизации зарядных станций. В 2025 г. функционирует 57 зарядных станций, представленных на рисунке 5, девять из которых размещены на эксплуатационных площадках; 48 на отстойно-разворотных площадках (далее – ОРП). Общее количество ультрабыстрых зарядных станций (далее – УБЗС) составляет 393 ед. с общей мощностью свыше 177 МВт^{8, 9}.

⁶ Внутренний отчет Транспортного комплекса города Москвы за 2024 год, г. Москва, с. 37-39.

⁷ Официальный портал ГУП «Мосгортранс» <https://mosgortrans.ru>.

⁸ План мероприятий по адаптации города Москвы к климатическим изменениям, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, 2023г., г. Москва, с. 3-5.

⁹ Единый транспортный портал <https://transport.mos.ru>.

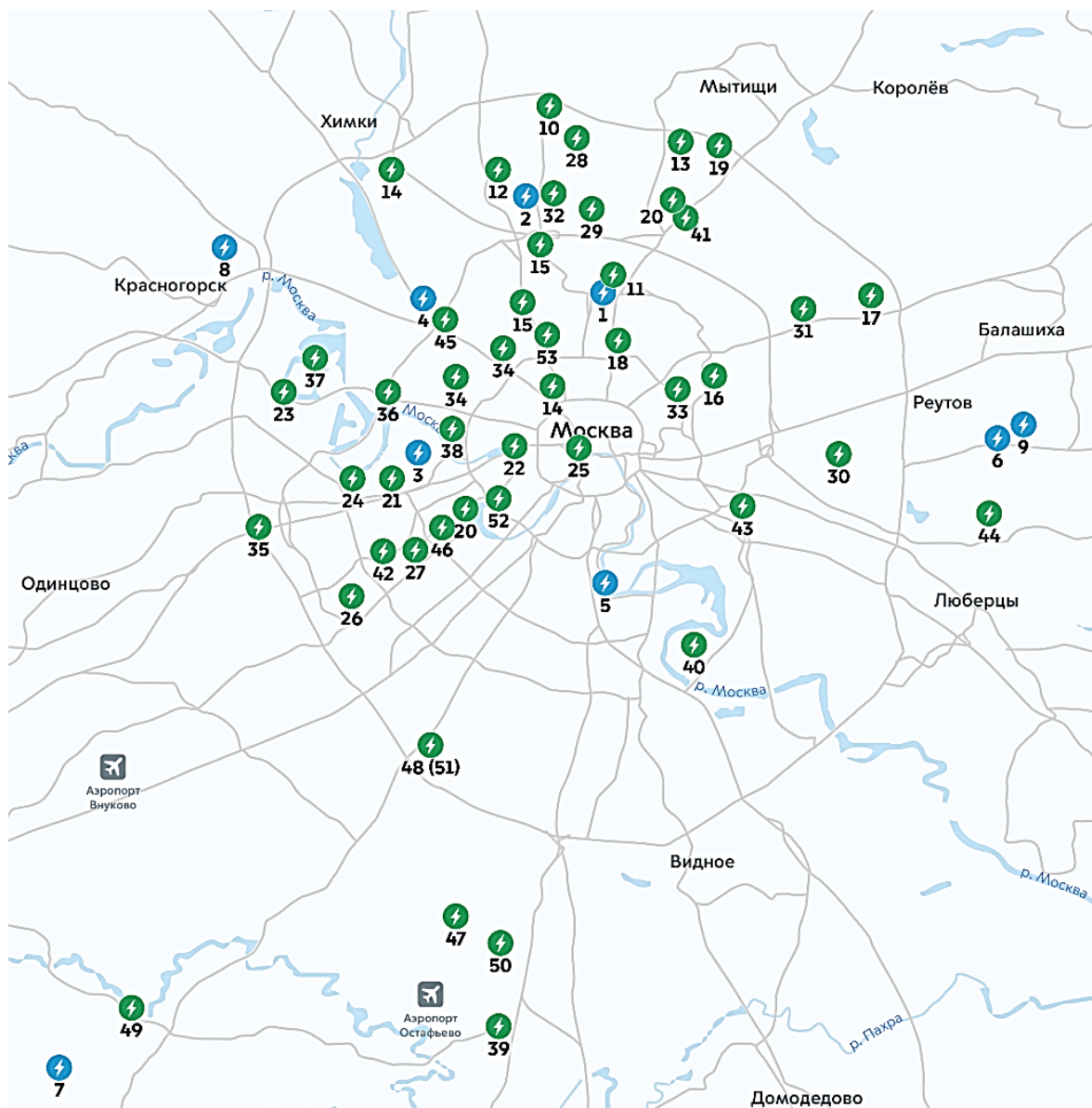


Рисунок 5 – Зарядные станции г. Москвы
 Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Charging stations in Moscow
 Source: compiled by the authors.

Несмотря на постепенный переход на электробусы, дизельные автобусы на сегодняшний день составляют значительную часть общественного городского транспорта г. Москвы, что в свою очередь делает АЗС востребованными. Анализ эффективности работы АЗС показывает, что существуют ограничения по пропускной способности в сравнении с зарядными станциями, что включает в себя непосредственное участие водителя транспортного средства,

ограниченность в маневрировании и неравномерное распределение потока в течение транспортных суток, а также производительность топливораздаточных колонок.

Статистика работы зарядных станций и АЗС показывает преимущество и более высокую пропускную способность зарядных станций благодаря правильно спланированной инфраструктуре станции и быстрой зарядке¹⁰.

¹⁰ Внутренний отчет Транспортного комплекса города Москвы. за 2024 год, г. Москва, с.43.



Рисунок 6 – схема ОРП «МЦД Курьяново»
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Figure 6 – Layover and turnaround areas' scheme (Moscow Central Diameter "Kuryanovo")
Source: compiled by the authors.

Применив метод статического анализа данных, удалось установить корреляцию между количеством зарядных станций и количеством ТС на отдельно взятой ОРП.

Например, на ОРП «Митино» суммарная мощность составляет 3 300 кВт, где ультрабыстрый режим работы станции выдает максимально 300 кВт и требуемое время на зарядку электробусов – 30 мин (от 0 до 100%), а в ночном режиме поступает максимально 15,7 кВт и время зарядки составляет до 8 ч (от 0 до 100%).

На рисунке 6 представлена схема ОРП «МЦД Курьяново». Вместе с тем на рисунке 7 отображено плановое распределение потока ТС по часам суток в рабочий день (загруженность станции в определенные часы, шаг – один час с 09:00). Например, в часы с 07:00 до 08:00 выявлены существенные пики загрузки. В указанный период зафиксировано максимальное количество ТС – 6 ед.¹¹ Детальное распределение потока ТС на зарядной станции в будние дни за период с 06:00 по 08:30 представлено на рисунке 8.

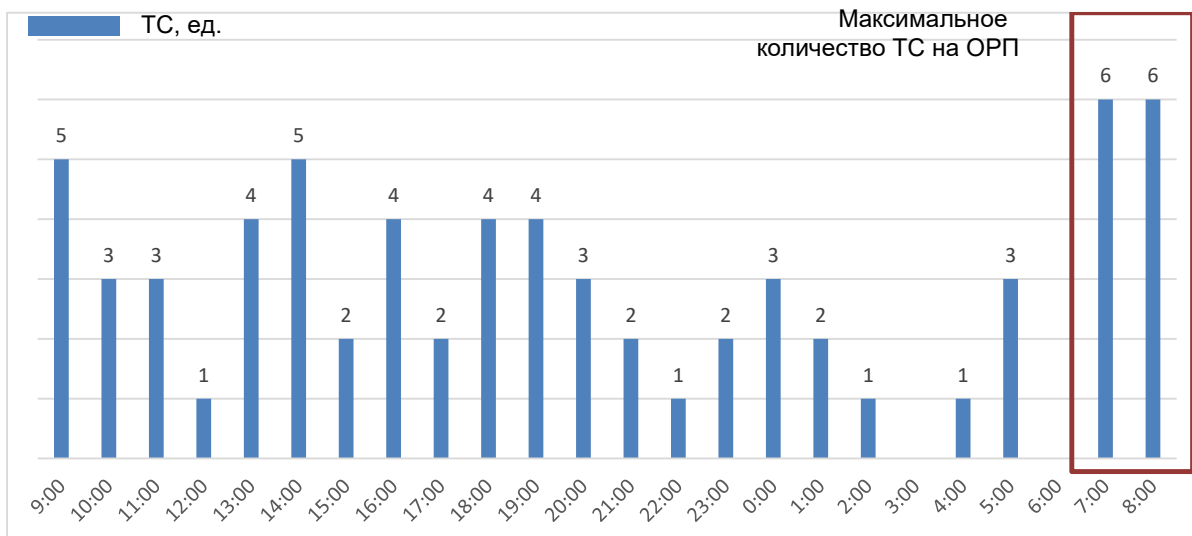


Рисунок 7 – Распределение потока по часам суток (в будние дни)
 Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Hourly flow distribution (on weekdays)
 Source: compiled by the authors.



Рисунок 8 – Распределение потока с 07:00 по 09:00 (в будние дни)
 Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Flow distribution from 7:00 a.m. to 9:00 a.m. (on weekdays)
 Source: compiled by the authors.

На основании вышеописанного метода проведен аналогичный анализ распределения количества маршрутов и ТС по зарядным станциям на всех ОРП, представленных в таблице 2.

Таблица 2
Распределение маршрутов и ТС на зарядные станции Москвы
 Источник: составлено авторами.

Table 2
Distribution of routs and vehicles among Moscow charging stations
 Source: compiled by the authors.

Адрес	Количество маршрутов	Количество ТС	Количество УБЗС	Нагрузка на 1 УБЗС
Эксплуатационная площадка «Нагорная» (Электролитный проезд, д. 4)	9	59	9	7
Эксплуатационная площадка «Митино» (ул. Зенитчиков, д. 2, к. 2)	9	84	37	6
(Остафьевская улица) Чечёрский пр., д. 43	9	49	11	5
(Метро «Ломоносовский проспект») Ломоносовский пр-т, д. 28	8	38	6	6
Саратовская ул., д. 18/10, стр. 1 (ОРП «ул. Саратовская»)	8	56	12	5
ул. Подольская, д. 18 (ул. Донецкая, д. 5) (ОРП «МЦД Курьяново»)	7	47	7	7
Осташковская ул. (Осташковская ул., д. 20)	6	52	7	7
Эксплуатационная площадка «Останкино» (ул. Бочкова, д. 10)	6	56	9	6
Стадион Лужники (Новолужнецкий проезд, д. 3)	6	62	10	6
Метро Тёплый Стан Новоясеневский проспект, 4Б	6	42	8	5
Эксплуатационная площадка «Новокосино» ул. Галины Вишневской, д. 7, стр. 1	6	46	13	4
6-й мкр. Бибирева (Алтуфьевское шоссе, д. 102)	5	43	5	9
ВДНХ (южн.) (1-я Останкинская ул., д. 57)	5	71	9	8
ул. Лухмановская, д. 37 (ОРП «9-й мкр. Кожухова»)	5	35	5	7
Киевский вокзал (площадь Киевского вокзала)	5	57	9	6
Рижский вокзал (Рижская пл., д. 7)	5	29	6	5
Дворец спорта «Сокольники» (Сокольнический вал, д. 17)	5	19	9	5
(Троицк микрорайон «В») Троицк, микрорайон В, д. 12а	5	34	8	4
3-й мкр. Новокосино (ул. Николая Старостина, д. 15)	4	32	4	8
Платформа «Новогиреево» (Перовская ул., д. 70)	4	27	4	7
(Серебряный бор) Таманская улица, 33	4	58	11	5
(МЦД Аминьевская) Аминьевское ш., д. 4Д, корп. 3а	4	39	11	5
(Беляево) Миклухо-Маклая ул., 22а	4	34	7	5
«Ивановское» (Саянская ул., д. 22а)	4	17	4	4
Эксплуатационная площадка «Красная Пахра» (поселение Краснопахорское, квартал № 92, д. 1)	4	31	34	3
пос. Московский, дер. Саларьево, Картмазовская ул., 50	4	18	12	2
Метро «Филёвский парк» (Минская ул., д. 16а)	3	15	2	8
Метро «Бибирево» (Костромская ул., д. 20)	3	28	4	7
Эксплуатационная площадка «Верхние Лихоборы» (Верхнелихоборская ул., д. 4)	3	27	4	7
Метро «Озёрная» (ул. Озерная, д. 33, к. 2)	3	34	6	6
Карамышевская набережная, 9	3	32	6	5
Крылатское (ул. Крылатские холмы, д. 38, к. 3)	3	15	3	5
Метро «Сокол» (Ленинградский пр-т, д. 73А, стр. 3)	3	22	5	4
Эксплуатационная площадка «Сокол» (Ленинградское шоссе, д. 4, с. 1)	3	17	4	4

Адрес	Количество маршрутов	Количество ТС	Количество УБЗС	Нагрузка на 1 УБЗС
Эксплуатационная площадка «Фили» (ул. Дениса Давыдова, д. 2)	3	33	8	4
Станция МЦД Щербинка (Щербинка, Бутовский тупик, д. 1, корп. 2)	3	11	4	3
МЦД «Остафьево»	3	19	12	2
Уссурийская ул. (Алтайская, д. 21, стр. 1)	2	23	3	8
Холмогорская ул. (ул. Холмогорская д. 1)	2	30	4	8
«Вагоноремонтная» «МЦД Лианозово» ДСК-1 Дмитровское шоссе, д. 155 (Дмитровское шоссе, д. 114А, стр.1)	2	22	3	7
ОРП Р5 Сколково (Большой бульвар, д. 5)	2	14	2	7
«Генерала Ермолова» Метро «Парк Победы» (ул. Неверовского, д.13)	2	36	6	6
Метро «Владыкино» (Сигнальный проезд, д. 6а)	2	17	3	6
Москва-Сити (ул. Тестовская, д. 9)	2	19	4	5
Проспект Будённого (Измайловское шоссе, д. 4а)	2	16	4	4
Эксплуатационная площадка «Салтыковка» Салтыковская улица, 55, с. 1	2	18	13	3
Электrozаводский мост (ул. Электrozаводская, д. 1)	1	13	2	7
Северянинский путепровод (пр. Мира, д. 222А, стр.9)	1	17	3	6
Ул. Кравченко (ул. Кравченко, д. 22)	1	14	3	5
Бескудниковский переулок (Бескудниковский бульвар д. 13)	1	8	2	4
Базовская ул. (Коровинское шоссе, д. 30а)	1	16	5	3

Средняя нагрузка по количеству электробусов на 1 УБЗС составляет 5 ед. Вместе с тем максимальное количество равно 9 ед., минимальное – 2. Выявленная неравномерность соотношения показателей обусловлена неравномерностью маршрутной сети и возможностью территориального размещения и строительства УБЗС из-за сложившейся плотной застройки г. Москвы. На основании анализа плановых расписаний для маршрутов электробусов установлено максимальное количество ТС, которые возможно заряжать на 1 УБЗС, что составляет 9.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В рисунке 9 представлено соотношение количества электробусов по расписанию на 1 УБЗС и количественное распределение на всех ОРП г. Москвы.

Проанализировав количественное распределение электробусов как на уровне отдельных УБЗС, так и в целом по всем ОРП города Москвы, можно сделать вывод о текущем состоянии парка электробусов.

На существующих ОРП г. Москвы для действующих маршрутов электробусов имеется существенный резерв по количеству ТС, ко-

торые возможно заряжать на установленных УБЗС, что позволит не только эффективно обслуживать текущий парк электробусов, но и обеспечивать планомерное увеличение количества ТС.

Полученный резерв способствует полному отсутствию очередей и простоев электробусов. Однако существуют определенные риски и потенциальные проблемы, способные нарушить стабильную работу. Нарушение работы одной или несколько УБЗС на ОРП, снижение напряжения в сети, технические сбои в системе управления, неравномерное распределение нагрузки и другие аварийные ситуации. Даже один из перечисленных выше сбоев может привести к серьезным нарушениям в соблюдении расписания маршрутов и требует оперативного регулирования.

Для исключения сбоев в движении транспортных средств на маршрутах важно перераспределять электробусы по зарядным станциям при работе на маршрутах регулярных перевозок, что позволит минимизировать риски простоев и образования очередей. Вместе с тем важно обеспечивать оперативное реагирование на сбои, включая корректировку трасс следования маршрутов.

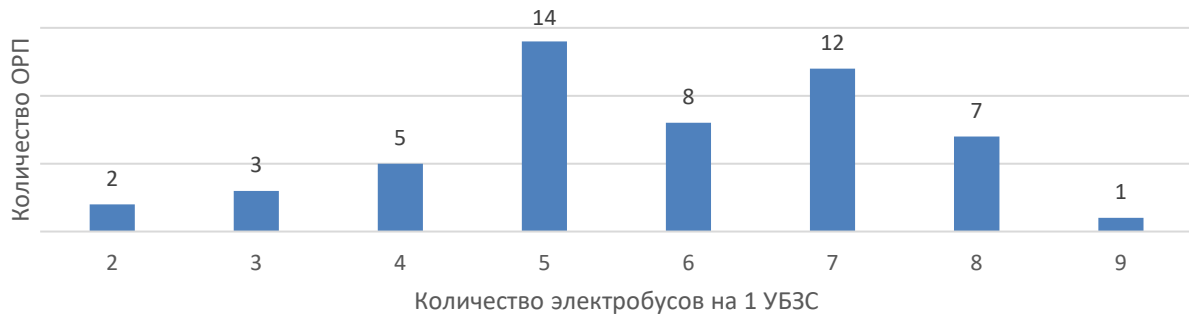


Рисунок 9 – Соотношение количества электробусов на 1 УБЗС г. Москвы
Источник: составлено авторами.

Figure 9 – Ratio of electric buses per one ultra-fast charging station in Moscow
Source: compiled by the authors.

Современные мегаполисы, стремясь к сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу и улучшению качества воздуха, активно внедряют электробусный транспорт в свои транспортные системы [3, 5, 8, 13].

Научные исследования подтверждают, что в связи с изменением климата транспортный сектор будет уязвимым как по отношению к экстремальным метеорологическим и природным явлениям, так и к «вялотекущим» неблагоприятным процессам. Ключевыми проблемами для г. Москвы, возникающими вследствие меняющегося климата, являются зимнее содержание дорог, повышение температуры и длительные периоды жары, которые вызывают размягчение асфальтового покрытия и приводят к учащенным отказам транспортного оборудования [13]. Безопасность и бесперебойность дорожного движения также зависит от климатических условий.

Проведен детальный анализ распределения количества маршрутов и ТС по зарядным станциям на всех ОРП. Результаты представлены в таблице 2 «Распределение маршрутов и ТС на зарядные станции г. Москвы».

На основании анализа плановых расписаний для маршрутов электробусов установлено максимальное количество ТС, которые возможно заряжать на 1 УБЗС.

Авторы показывают, что выбор приоритетов инвестиций в адаптацию определяется их эффективностью, рассчитываемой не через соотношение предотвращенного ущерба и потерь и вложений в реализацию проекта, а через соотношение суммы (совокупных) выгод (доходов) от реализации управленческих и технических решений, включая выгоды адаптации, с одной стороны, и величины указанных вложений, с другой стороны.

Утверждение отраслевой методики расчета рисков и оценки последствий для объектов транспортной инфраструктуры прогнозируемых климатических изменений в данном случае выступит эффективным экономическим инструментом реализации мероприятий по оценке климатических рисков, организации транспортной работы, реализации технологий транспортных процессов, проектирования, строительства и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры с учетом изменения климата.

В графическом виде представлена и описана зависимость задержек движения (в % от плана рейсов) от температурного режима воздуха за определенный период времени.

В графическом виде представлена и описана зависимость потерь по бракам электробусов от температуры воздуха. Также описаны возможные причины сбоев.

Определено и наглядно показано детальное распределение потока ТС на отдельно взятой зарядной станции в будние дни в часы пик.

Установлена корреляция между количеством зарядных станций и количеством ТС на отдельно взятой ОРП Москвы.

Выявлены причины неравномерности соотношения показателей нагрузки по количеству электробусов на 1 УБЗС.

Доказана необходимость разработки и реализации дополнительных мер по сокращению уязвимости транспортной системы от влияния погодных-метеорологических и климатических факторов.

Представлены конкретные мероприятия, которые должна содержать система мероприятий г. Москвы по адаптации транспортного комплекса к климатическим изменениям.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основы перехода на низкоуглеродный транспорт представляют собой комплексный подход, включающий развитие зарядной инфраструктуры, модернизацию системы управления транспортом и подготовку кадров. Ключевым фактором успешного внедрения является стратегическое планирование, учитывающее специфику города, пассажиропоток и особенности транспортной сети. Вместе с тем необходимо отметить, что переход на электробусы требует значительных первоначальных инвестиций, но в долгосрочной перспективе обеспечивает существенную экономию благодаря снижению эксплуатационных расходов и уменьшения затрат на обслуживание.

Система мероприятий г. Москвы по адаптации транспортного комплекса к климатическим изменениям должна содержать такие мероприятия, как развитие системы быстрого оповещения о приближении опасных погодных явлений; оптимизацию выезда на линию подвижного состава общественного транспорта для компенсации роста пассажиропотока при неблагоприятных климатических явлениях; совершенствование методов борьбы с наледью; снижение скоростных лимитов на магистралях; ограничение движения грузовых транспортных средств; развитие системы информирования населения об экстремальных погодных условиях с рекомендациями по снижению воздействия; рекомендации по удаленной работе; активная работа с транспортным поведением населения.

Моделирование качественных и количественных выгод и ущерба транспортной инфраструктуре и деятельности городского пассажирского транспорта от климатических изменений является предметом исследований как комплексный инструмент, который позволит оценить существующие и последующие результаты климатических изменений на транспортную систему столицы и принимать взвешенные заблаговременные решения с учетом климатических рисков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брижанин В.В., Киселева С.П., Филиппова Р.В., Осташ С.В. Перспективы углеродного регулирования в России и повышение ответственности и вовлеченности предприятий в деятельность по сокращению выбросов парниковых газов // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2023. № 20(2). С. 130–142.
2. Cars, planes, trains: where do CO₂ emissions from transport come from? <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> (дата обращения: 06.08.2025 г.)
3. Маслов А.А., Сазонов С.Л. Планы руководства Китая по достижению углеродной нейтральности к 2060 г. // Большая Евразия: развитие, безопасность, сотрудничество. 2022. № 5 (1). <https://cyberleninka.ru/article/n/plany-rukovodstva-kitaya-podostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-k-2060-g> (дата обращения: 08.08.2025 г.)
4. Воробьев С.А. Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике: монография. СПб.: Научное издание. 2023. 122 с.
5. Анализ рынка электробусов Великобритании: «Общество производителей и продавцов автомобилей». 2023. <https://www.smmmt.co.uk/2023/07/uk-electric-bus-registrations> (дата обращения: 17.08.2025 г.)
6. Терентьев В.В. Внедрение интеллектуальных систем на автомобильном транспорте. Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21), 2018. <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-intellektualnyh-sistem-na-avtomobilnom-transporte/viewer> (дата обращения: 17.08.2025 г.)
7. Jittrapirom P., Marchau V., Heijden R. Dynamic adaptive policymaking for implementing Mobility-as-a Service (MaaS). *Research in Transportation Business & Management*. 2018. 27: 46-55/ 10.1016/j.rtbm.2018.07.001 (дата обращения: 11.08.2025 г.)
8. Ruf Y., Kaufmann M., Lange S., Heieck F., Endres A., Pfister J. Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities: Cost analysis and high-level business case // *Brussels and Frankfurt*. 2017. Vol. 2.
9. Golbabaee F., Yigitcanlar T. & Bunker J. The role of shared autonomous vehicle systems in delivering smart urban mobility: A systematic review of the literature // *International Journal of Sustainable Transportation*. 2021. 15. pp. 731-748.
10. Shen P. Building retrofit optimization considering future climate and decision-making under various mindsets // *Journal of Building Engineering*. 2024. V. 96. P. 110422. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110422> (дата обращения: 08.08.2025 г.)
11. Glasgow's strategy for creating low-emission zones: Glasgow City Council. 2023, <https://www.glasgow.gov.uk/lowemissionzone> (дата обращения: 11.08.2025 г.)
12. Тематическое исследование Northumberland Park Depot: «Актуальные новости». 2023. <https://www.current-news.co.uk/londons-largest-electric-bus-depot> (дата обращения: 11.08.2025 г.)
13. Брижанин В.В., Филиппова Р.В., Сударикова Е.В., Судариков М.Д. Вклад Российской Федерации в сокращение выбросов парниковых газов: механизмы регулирования и современное технологическое решение их реализации // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2022. №19 (5): 125.
14. Kai L., Zhe L., Hong G., Meng Z. Optimal charging strategy for large-scale electric buses considering resource constraints. // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021,

99. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103009> (дата обращения: 11.08.2025 г.)

15. Спирин И.В. Инвестиционные аспекты развития парка подвижного состава // Вестник университета (Гос. университет управления). Серия «Развитие отраслевого и регионального управления». 2007. № 1(1).

16. Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Экология: альтернативные топлива с учетом их полного жизненного цикла // Автомобильная промышленность. 2001. № 4.

17. Миренкова Е.А. Альтернативные моторные топлива из природного газа: энергетическая эффективность и экологические показатели в полном жизненном цикле // 8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник трудов Международной научно-технической конференции. 2019. С. 152.

REFERENCES

1. Brizhanin V.V., Kiseleva S.P., Filippova R.V., Ostakh S.V. Prospects of carbon regulation in Russia and increasing responsibility and involvement of enterprises in activities to reduce greenhouse gas emissions. *Bulletin of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2023; 20(2): 130-142. (In Russ.)

2. Cars, planes, trains: where do CO₂ emissions from transport come from? <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.

3. Maslov A.A., Sazonov S.L. Plans of the Chinese leadership to achieve carbon neutrality by 2060. *Greater Eurasia: development, security, cooperation*. 2022; 5 (1). (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/plany-rukovodstva-kitaya-po-dostizheniyu-uglerodnoy-neytralnosti-k-2060-g>.

4. Vorobyov S.A. Prospects for the development of motor transport on alternative energy. Monograph. St. Petersburg: Science-intensive technologies. 2023:122. (In Russ.).

5. Analysis of the UK Electric Bus market: Society of Automobile Manufacturers and Sellers. 2023. <https://www.smmr.co.uk/2023/07/uk-electric-bus-registrations>.

6. Terentyev V.V. The introduction of intelligent systems in road transport. *Reliability and quality of complex systems*. 2018; 1 (21). <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-intellektualnyh-sistem-na-avtomobilnom-transporte/viewer>.

7. Jittrapirom P., Marchau V., Heijden R. Dynamic adaptive policymaking for implementing Mobility-as-a Service (MaaS). *Research in Transportation Business & Management*. 2018; 27: 46-55. (In Russ.). / 10.1016/j.rtbm.2018.07.001.

8. Ruf Y., Kaufmann M., Lange S., Heieck F., Endres A., Pfister J. Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities: Cost analysis and high-level business case. *Brussels and Frankfurt*. 2017. Vol. 2.

9. Golbabaie F., Yigitcanlar T. & Bunker J. The role of shared autonomous vehicle systems in delivering smart urban mobility: A systematic review of the literature. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2021; 15: 731-748.

10. Shen P. Building retrofit optimization considering future climate and decision-making under various mindsets. *Journal of Building Engineering*. 2024; 96: 110422. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110422>.

11. Glasgow's strategy for creating low-emission zones: Glasgow City Council. 2023. <https://www.glasgow.gov.uk/lowemissionzone>.

12. Northumberland Park Depot Case Study: "Current News". 2023. <https://www.current-news.co.uk/londons-largest-electric-bus-depot>.

13. Brizhanin V.V., Filippova R.V., Sudarikova E.V., Sudarikov M.D. Contribution of the Russian Federation to the reduction of greenhouse gas emissions: regulatory mechanisms and modern technological solutions for their implementation. *Bulletin Plekhanov Russian University of Economics*. Moscow. 2022; vol 19, 5 (125) (in Russ.).

14. Kai L., Zhe L., Hong G., Meng Z. Optimal charging strategy for large-scale electric buses considering resource constraints. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021; 99. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103009>.

15. Spirin I.V. Investment aspects of the development of the rolling stock fleet. *Vestnik universiteta (Gos. universitet upravleniya), Seriya «Razvitie otraslevogo i regional'nogo upravleniya»*. 2007; 1(1). (In Russ.).

16. Zvonov V.A., Kozlov A.V., Terenchenko A.S. Ecology: alternative fuels taking into account their full life cycle. *Automotive industry*. 2001; 4. (In Russ.).

17. Mirenkova E.A. Alternative motor fuels from natural gas: energy efficiency and environmental performance in the full life cycle. In the collection: *The 8th Lucanian Readings. Problems and prospects of development of the motor transport complex Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. 2019; P. 152. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Филиппова Р.В. Концепция исследования, научное руководство, научное редактирование текста. Исследование и анализ качественных и количественных выгод и ущерба транспортной инфраструктуре и деятельности городского пассажирского транспорта г. Москвы от климатических изменений. Подготовка перечня мероприятий по адаптации транспортного комплекса к климатическим изменениям.

Феньков И.А. Разработка графиков и диаграмм и их описание, анализ данных. Комплексное изучение практического применения электробусов в г. Москве. Представление динамики внедрения данного вида транспорта в систему города, представление данных и возможностей перераспределения электробусов по зарядным станциям при работе на маршрутах регулярных перевозок столицы. Разработка предложений по минимизации рисков простоев и образования очередей для подзарядки.

Авторами внесен равный вклад в разработку статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Filippova Rimma V. Research concept, scientific supervision, scientific editing of the text. Research and analysis of qualitative and quantitative benefits and damages to the transport infrastructure and activities of urban passenger transport in Moscow from climate change. Preparation of the list of measures to adapt the transport complex to climate change.

Fen'kov Ivan A. Design of graphs and diagrams and its description, data analysis. Comprehensive study of the practical application of electric buses in Moscow. Presentation of dynamics of the electric bus introduction into the city's system, presentation of data and possibilities for the redistribution of electric buses operating on Moscow regular transportation routes among charging stations. Development of the proposals to minimize the risks of downtime and queues for recharging.

The authors have made the equal contribution to the development of this article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Филиппова Римма Владимировна – канд. экон. наук, советник при ректорате Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), старший руководитель проектов службы корпоративной политики ГУП «Мосгортранс» (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1364-297>,

SPIN-код: 2166-4008,

e-mail: filippovaRV@transport.mos.ru

Феньков Иван Алексеевич – соискатель ученой степени канд. техн. наук Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4543-5647>,

SPIN-код: 8392-8245,

e-mail: fenkov.ivan@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Filippova Rimma V. – Candidate of Sciences (Economics), Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), State Unitary Enterprise “Mosgortrans” (64, Leningradskiy prospect, Moscow, 125319)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1364-297>,

SPIN-code: 2166-4008,

e-mail: filippovaRV@transport.mos.ru

Fen'kov Ivan A. – Applicant for the Degree of Candidate of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), State Budgetary Institution “Organizer of Transportation” (64, Leningradskiy prospect, Moscow, 125319)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4543-5647>,

SPIN-code: 8392-8245,

e-mail: fenkov.ivan@gmail.com