

Научная статья

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-896-915>

EDN: UCULUJ



Check for updates

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ КАК ОСНОВНОГО ТРАНСПОРТА НГПТ В УСЛОВИЯХ МОСКВЫ

А.А. Гришин¹, С.В. Жанказиев², С.С. Титова² ¹Государственное унитарное предприятие «Мосгортранс», г. Москва, Россия²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия ответственный автор
s.titova@madi.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. В условиях стремительной урбанизации и повышения экологических требований к городскому транспорту вопрос перехода на экологически чистые виды подвижного состава становится особенно актуальным. Москва, как мегаполис с высокой плотностью населения и интенсивным транспортным потоком, сталкивается с необходимостью сокращения выбросов загрязняющих веществ и улучшения качества городской среды. Целью данного исследования является всесторонняя оценка целесообразности замены автобусов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) на электробусы в качестве основного вида наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ).

Материалы и методы. Исследование базируется на многокомпонентной методологии, объединяющей качественные и количественные подходы. Информационную основу составили официальные данные ГУП «Мосгортранс», включающие статистику эксплуатации и сведения о техническом обслуживании подвижного состава. Для сбора данных проведено анкетирование двух целевых групп (пассажиров НГПТ и водителей). Проведен сравнительный технико-эксплуатационный анализ ключевых параметров работы автобусов с ДВС и электробусов (энергопотребление|расход топлива, затраты на техобслуживание, выбросы CO₂).

Результаты. В результате исследования получены доказательства экономической и экологической целесообразности использования электробусов в московской агломерации. Установлено наличие положительного социального эффекта, выражющегося в повышении комфорта пассажиров. Отмечены существенные инвестиции, требуемые для построения современной зарядной инфраструктуры и поддержание необходимого парка техники.

Обсуждение. Несмотря на имеющиеся ограничения, проведённый анализ подтвердил перспективность электробусов как основного элемента НГПТ Москвы. Основные рекомендации касаются постепенного внедрения электробусов, акцентируя внимание на развитии сетей зарядных станций и разработке механизмов стимулирования производителей и операторов транспортных услуг.

Заключение. Полученные результаты представляют интерес для администрации Москвы, транспортных компаний и общественных организаций, заинтересованных в обеспечении комфортной и безопасной городской среды. Новизна работы заключается в глубоком изучении влияния технологий на жизнь большого числа людей и взаимодействии инженерно-технических решений с социальным восприятием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электробус, общественный транспорт, экология, электроэнергия, транспортные системы, социальная значимость, инновационная технология, техническая эксплуатация, дорожная безопасность, экономия ресурсов, городской пассажирский транспорт, Московский регион, стратегия устойчивого развития

Статья поступила в редакцию 16.09.2025; одобрена после рецензирования 31.10.2025; принята к публикации 15.12.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

© Гришин А.А., Жанказиев С.В., Титова С.С., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Гришин А.А., Жанказиев С.В., Титова С.С. Анализ актуальности применения электробусов как основного транспорта НГПТ в условиях Москвы // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 6. С. 896-915. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-896-915>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-896-915>

EDN: UCULUJ

ANALYSIS OF THE RELEVANCE OF USING ELECTRIC BUSES AS A PRIMARY MEANS OF URBAN PUBLIC TRANSPORT IN MOSCOW CONDITIONS

Artem A. Grishin¹, Sultan V. Zhankaziev², Svetlana S. Titova² 

¹"Mosgortrans" State Unitary Enterprise,
Moscow, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

 corresponding author
s.titova@madi.ru

ABSTRACT

Introduction. In the context of rapid urbanization and increasing environmental requirements for urban transport, the transition to environmentally friendly types of rolling stock is becoming particularly relevant. Moscow, as a megacity with a high population density and intensive traffic flow, faces the need to reduce pollutant emissions and improve the quality of the urban environment. The purpose of this study is to provide a comprehensive assessment of the feasibility of replacing buses with internal combustion engines (ICE) with electric buses as the main type of surface urban public transport (UPT).

Materials and Methods. The study is based on a multicomponent methodology combining qualitative and quantitative approaches. The informational basis consists of official data from the State Unitary Enterprise "Mosgortrans," including operational statistics and information on the maintenance of rolling stock. Data collection included a survey of two target groups (UPT passengers and drivers). A comparative technical and operational analysis of key performance parameters of ICE buses and electric buses was carried out (energy consumption/fuel consumption, maintenance costs, CO₂ emissions).

Results. The study provides evidence of the economic and environmental feasibility of using electric buses in the Moscow metropolitan area. A positive social effect was identified, manifested in increased passenger comfort. Significant investments required for the construction of modern charging infrastructure and for maintaining the necessary fleet of vehicles were noted.

Discussion. Despite existing limitations, the analysis confirmed the prospects of electric buses as a core element of Moscow's urban public transport. The main recommendations relate to the gradual introduction of electric buses, with an emphasis on the development of charging station networks and the creation of incentive mechanisms for manufacturers and transport service operators.

Conclusion. The findings are of interest to the Moscow city administration, transport companies, and public organizations concerned with ensuring a comfortable and safe urban environment. The novelty of the study lies in its in-depth examination of how technologies influence the lives of a large number of people and in the interaction between engineering solutions and social perception.

KEYWORDS: electric bus, public transport, ecology, electric power, transport systems, social significance, innovative technology, technical operation, road safety, resource efficiency, urban passenger transport, Moscow region, sustainable development strategy

The article was submitted: September 16, 2025; **approved after reviewing:** October 31, 2025; **accepted for publication:** December 15, 2025.

All 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.

© Grishin Artem A., Zhankaziev Sultan V., Titova Svetlana S., 2025



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

For citation. Grishin A.A., Zhankaziev S.V., Titova S.S. Analysis of the relevance of using electric buses as a primary means of urban public transport in Moscow conditions. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2025; 22 (6): 896-915. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-6-896-915>

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных элементов структуры любого современного крупного города является транспортная система, без которой невозможно обеспечить его нормальное функционирование. Основная задача НГПТ заключается в полном и своевременном удовлетворении потребностей населения в перевозках, повышении эффективности и качества работы транспортной системы.

В соответствии с Транспортной стратегией города Москвы на период до 2030 г. в настоящее время существуют следующие основные направления развития пассажирского автомобильного транспорта:

- создание современной, развитой и эффективной транспортной инфраструктуры, обеспечивающей ускорение движения потоков пассажиров. Транспортная инфраструктура включает в себя строительство новых дорог, переход на более современные технологии управления транспортными потоками, использование современных транспортных средств и т.д. Важно также обеспечить удобную и безопасную систему билетной продажи и электронной оплаты проезда;

- разумное сочетание (по количеству и моделям) различных видов городского пассажирского транспорта с их взаимной увязкой (рисунки 1 и 2). Это позволит улучшить мобильность горожан и повысить эффективность транспортной системы в целом;

- повышение комплексной безопасности, устойчивости и надежности пассажирских перевозок. Это предусматривает совершенствование системы безопасности на дорогах, обеспечение надежности транспортных средств, а также повышение устойчивости транспортной системы в общем;

- повышение доступности услуг транспортного комплекса для всех слоев населения на всей территории Москвы. Это содержит в себе создание условий для беспрепятственного доступа к транспорту для людей с ограниченными возможностями, а также развитие транспортной инфраструктуры в отдаленных и малонаселенных районах Москвы;

- уменьшение отрицательного воздействия транспортного комплекса на окружающую среду. Это охватывает переход на экологически чистые транспортные средства, использование альтернативных источников энергии, а также совершенствование системы утилизации отходов;



Рисунок 1 – Автобус ОБК (КАМАЗ-6299-40-5F)
Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 1 – Extra large class bus (KAMAZ-6299-40-5F)
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.



Рисунок 2 – Электробус БК (КАМАЗ-6292)
Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 2 – Large class electric bus (KAMAZ-6292)
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.

- повышение системности и комплексности в управлении функционированием и развитием городских и пригородных перевозок пассажиров, а также в координации и взаимодействии с различными видами транспорта. Это учитывает внедрение новых технологий и инновационных решений для улучшения качества и эффективности городского и пригородного транспорта;

- создание для пассажиров наиболее благоприятной обстановки и условий при пользовании всеми видами городского и пригородного транспорта. Это предполагает повышение экологической безопасности транспорта и снижение его негативного воздействия на окружающую среду. Действует на развитие системы оплаты проезда и упрощение процедуры покупки билетов, в том числе введение электронных билетов. Улучшает информационную поддержку для пассажиров, в том числе создание мобильных приложений для отслеживания расписания и маршрутов транспорта, обновления тарифов и получения другой полезной информации;



Рисунок 3 – Электронный маршрутоуказатель внутри транспортного средства

Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 3 – Electronic route indicator inside the vehicle
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.

- совершенствование информационного обеспечения перевозочного процесса на всех уровнях (рисунок 3). Это участвует в создании эффективной системы информирования пассажиров о расписании движения транспорта, его местонахождении и т.д.¹.

- совершенствование перевозочных процессов, развитие новых прогрессивных технологий перевозок, использующих последние достижения науки и техники. Это содержит в себе внедрение автоматизированных систем управления транспортом, позволяющих оптимизировать маршруты, управлять движением транспорта на дорогах и внутри города, а также обеспечивать мониторинг и контроль за работой транспортных средств.

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОБУСОВ

От совершенства транспортного обслуживания зависит настроение людей, их работоспособность, социальное развитие, а также здоровье граждан в целом. Для выполнения качественного транспортного обслуживания населения необходимо соблюдать следующие факторы:

- надежность;
- эффективность;
- безопасность;
- комфортабельность перевозки пассажиров, их ручной клади и багажа.

Использование комфортабельных транспортных средств снижает усталость пассажиров, что способствует более высокой производительности труда. Экономия времени достигается за счет повышения эффективности и скорости движения транспортных средств, что позволяет пассажирам использовать свободное время для быта и отдыха²

Ежегодно перемещается на наземном транспорте более 500 млн чел. в целях выполнения своих задач (таблица 1). Новые маршрутные сети создаются для возможности передвижения в разное время суток, а оптимизация на маршрутах включает корректировку объема перевозок, направления, дальности, сокращение загруженности транспорта и времени в пути. В настоящее время также происходит переход городского общественного транспорта на экологически чистые транспортные средства, такие как электробусы.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р (ред. от 06.11.2024) «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

² Жуков А.И., Рошин А.И., Акопов Ф.В., Асманов И.А. Проектирование структуры парка пассажирского транспорта: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2025; 112:EDN RMWQNN.

В условиях современного мегаполиса, такого как Москва, одной из ключевых проблем является обеспечение устойчивого и экологически чистого городского транспорта. Традиционные транспортные средства с двигателями внутреннего горения оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, что приводит к ухудшению качества воздуха и увеличению уровня шума. В связи с этим переход на альтернативные виды транспорта, такие как электробусы, становится все более актуальным. Электробусы представляют собой перспективное направление развития общественного транспорта, поскольку они обладают рядом преимуществ, вклю-

чая снижение выбросов вредных веществ, уменьшение уровня шума и повышение энергоэффективности [1]. Внедрение нового вида транспорта в пассажирский сектор транспортной услуги обусловлен многими факторами.

Одним из первых городов России, где произошло использование электробусов в пассажирских перевозках, стала Москва. Внедрение электробусов в систему общественного транспорта Москвы произошло в 2018 г. В плане дальнейшего развития предполагается, что к 2030 г. городской автобусный транспорт будет переведен в режим электробусного транспорта на 80% (таблица 2).

Таблица 1
Перевозка пассажиров
Источник: составлено авторами.

Table 1
Passenger transportation
Source: compiled by the authors.

ГОД	Итого пасс. чел.	Автобус	Электробус
2018	1 442 818 581	1 024 888 897	720 2334
2019	1 323 381 385	935 941 267	23 985 580
2020	825 484 373	605 393 048	43 551 130
2021	771 559 093	663 315 027	22 044 679
2022	791 456 308	674 305 242	117 137 211
2023	852 671 439	715 669 474	136 996 827
2024	907 763 319	700 329 617	207 391 649
2025	468 754 365	329 026 325	139 707 334

Таблица 2
План перевода Московского транспорта
Источник: составлено авторами.

Table 2
Plan to convert Moscow public transport to electric bus mode
Source: compiled by the authors.

	Общий парк	Автобусы	Электробусы	Доля электробусов в парке
Конец 2018 г.	6520	6475	45	0,7%
Конец 2019 г.	6800	6500	300	4,4%
Конец 2020 г.	6679	6087	592	8,9%
Конец 2021 г.	6883	5890	993	14,4%
Конец 2022 г.	6682	5627	1055	15,8%
Конец 2023 г.	6690	5253	1437	21,5%
Конец 2024 г.	7109	4797	2312	32,5%
Июль 2025 г.	7077	4682	2395	33,8%
Конец 2025 г.	6950	4091	2859	41,1%
Конец 2026 г.	7080	3586	3494	49,4%
Конец 2027 г.	6900	2766	4134	59,9%
Конец 2028 г.	7000	2266	4734	67,6%
Конец 2029 г.	7025	1691	5334	75,9%
Конец 2030 г.	7165	1231	5934	82,8%

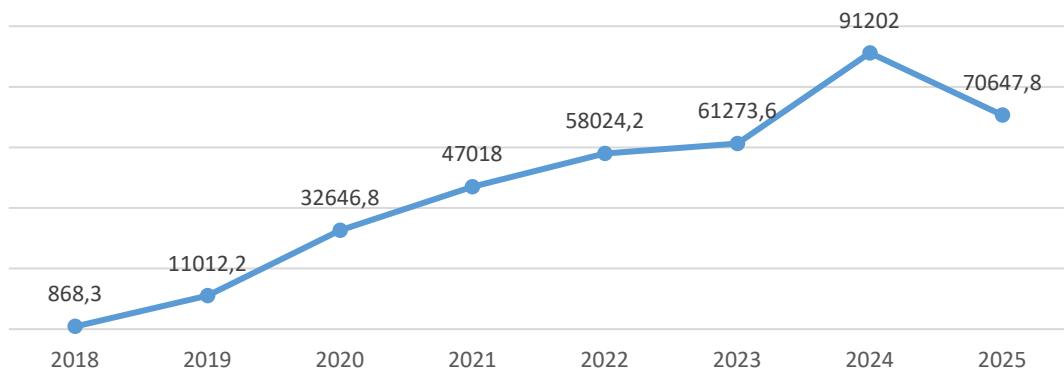


Рисунок 4 – Расход электроэнергии электробусами
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Electric energy consumption by electric buses
Source: compiled by the authors.

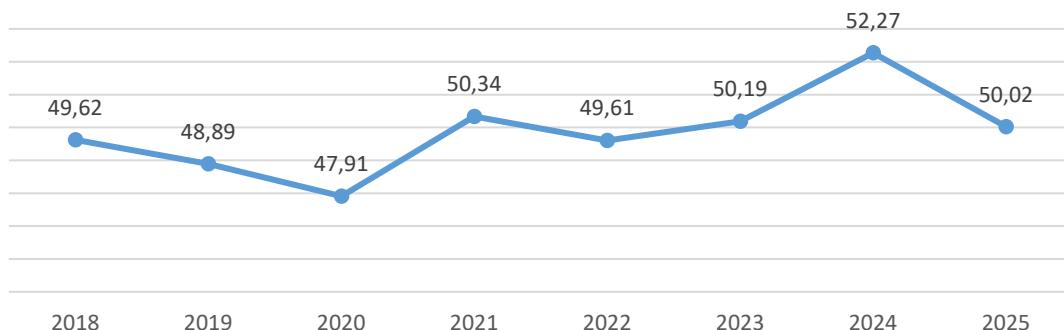


Рисунок 5 – Расход дизельного топлива автобусами с ДВС
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Diesel fuel consumption by buses with internal combustion engines
Source: compiled by the authors.

В Москве и Московской области электробусы используются как для внутригородского, так и пригородного передвижения.

Электробусы по многим параметрам существенно отличаются от автобусов на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [14].

По сравнению с автобусом, оборудованным двигателем внутреннего сгорания, электробус обладает рядом преимуществ. Он практически бесшумен, прост в управлении, надёжен и долговечен. В отличие от автобусов на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), теряющих до 78% энергии на тепло и трение, электробусы эффективно преобразуют до 95% мощности в полезное движение, обеспечивая оптимальное соотношение работы к затраченной энергии (рисунки 4 и 5).

Основные преимущества электробусов в сравнении с автобусами:

- простота конструкции: меньше труящихся частей, отсутствуют системы охлаждения для выхлопных газов и потребность в замене масла. В результате расходы на техобслуживание электробусов на 30–50% ниже, чем у автобусов на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС);

- отсутствие вибраций: автобусы на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) (особенно работающие на дизельном топливе) – источник вибраций, передающихся кузову и пассажирам, электродвигатели электробусов динамически уравновешены;

- система кондиционирования воздуха электробусов показывает себя в эксплуатации лучше, чем та же система у автобусов, ввиду изменения конструкции – замечаний по некорректной работе системы на электробусах почти в 3,5 раза меньше, чем на автобусах.

Главное достоинство электробуса – работа транспортного средства на маршруте без привязки к проводам, как у троллейбуса, или рельсам, как у трамвая. То есть в этом плане электробусы вводить в эксплуатацию выгоднее. Кроме того, трамвайные рельсы занимают полезную площадь дорог, а от эксплуатации троллейбусов большие потери на тепло в проводах, загромождение городов проводами, невозможность обехать препятствие, низкая скорость, не отвечающая современному ритму городов, если случается обрыв в сети проводов, останавливается весь парк троллейбусов [12].

Электробус является инновационным пассажирским транспортным средством. Одновременно объединяет в себе преимущества троллейбуса и автобуса и исключает их недостатки.

Для эффективной и бесперебойной работы электробусов на маршрутах требуется наличие специальной инфраструктуры, обеспечивающей своевременную и качественную подзарядку электробусов³.

Зарядная инфраструктура является одним из важных факторов, влияющих на функционирование электробусов. Это обусловлено техническими ограничениями данных транспортных средств.

Чтобы развивать инновационный вид городского транспорта, Москва активно увеличивает количество станций для осуществления зарядки электробусов. Сейчас таких систем уже 399 шт. Зарядные станции находятся в парках, на маршрутах и конечных станциях. В настоящее время функционирует 166 конечных станций для автобусов и электробусов, 49 из них оборудованы зарядками.

К основным методам зарядки электробусов относятся:

- ночная зарядка – электробусы заряжаются, когда они припаркованы на ночь, используя зарядные устройства многопостового типа, размещенные в парках. Заряд осуществляется постоянным током на малой мощности – до 50 кВт;

- зарядка на маршруте – электробусы заряжаются во время межрейсового отстоя на отстойно-разворотных площадках с помощью зарядных устройств постоянного тока на высокой мощности – до 300 кВт.

Для зарядки электробусов устанавливаются ультрабыстрые зарядные станции, предназначенные для осуществления быстрого заряда электробусов. Зарядные станции, используемые ГУП «Мосгортранс», подключены к сети постоянного тока 600 В или сети переменного тока 0,4 кВ.

Каждая станция обладает автоматическими системами контроля и безопасности с аппаратами отключения высоковольтных цепей при нарушении допустимых параметров зарядки и коротком замыкании (рисунок 6).

Особенности зарядных станций:

- время заряда составляет от 10 до 55 мин, в зависимости от остаточного заряда аккумуляторной батареи электробуса и её ёмкости (в зависимости от модификации электробуса);

- универсальные – подходят для зарядки электробусов разных производителей;

- работают в любую погоду – можно использовать при температуре от -40 до +40 градусов.

Зарядные устройства для электробусов должны обеспечивать достаточную мощность для одновременной быстрой зарядки. Ключевые факторы включают в себя:

- номинальная мощность зарядного устройства – зарядные устройства большей мощности требуют большей энергетической инфраструктуры;

- количество зарядных устройств – общая нагрузка зависит от количества зарядных постов;

- бортовые аккумуляторы для автобусов – батареи большей емкости требуют больше энергии на одну зарядку;

- одновременная зарядка – одновременная зарядка нескольких машин может создать высокий пиковый спрос на мощность [11, 8].

³ Андреева Е.А., Беттгер К., Белкова Е.В. [и др.]. Управление транспортными потоками в городах: монография; под общей ред. А.Н. Бурмистрова, А.И. Солодкого. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М». 2019. 207 с. (Научная мысль). ISBN 978-5-16-014845-8. [Https://doi.org/10.12737/monography_5c934bfbb92895.69806950](https://doi.org/10.12737/monography_5c934bfbb92895.69806950). EDN ZBNQYH



Рисунок 6 – Зарядная инфраструктура электробусов
Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 6 – Charging infrastructure for electric buses
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.

Тщательный расчет нагрузки во время планирования помогает правильно подобрать электрическую инфраструктуру, включая трансформаторы, панели и проводку.

Ключевые шаги по развертыванию зарядной инфраструктуры для парков электробусов включают:

- планирование потребностей и мест зарядки на основе маршрутов, графиков и размера автопарка;

- модернизация электрической инфраструктуры – технологическое присоединение к электрическим сетям;

- строительные работы – прокладка кабельных линий, монтаж фундаментных оснований, установка зарядных станций;

- ввод в эксплуатацию и интеграция с системами управления автопарком;

- обучение водителей правилам проведения зарядных сессий;

Коэффициент полезного действия электробуса и автобуса

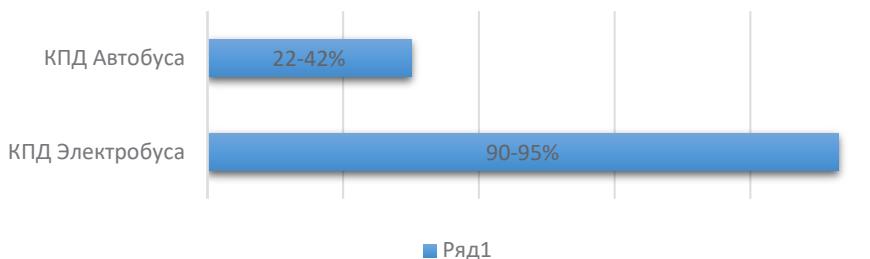


Рисунок 7 – КПД транспортного средства ГУП «Мосгортранс»
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Transport efficiency of “Mosgortrans” electric bus and a bus with internal combustion engine
Source: compiled by the authors.

- программа постоянного технического обслуживания для обеспечения бесперебойной работы.

Проведем сравнение электробусов с автобусами на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС):

1. Электродвигатели электробусов имеют гораздо больший коэффициент полезного действия (КПД) – до 90–95%, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания автобусов – 22–42%. Это свидетельствует о том, что электробусы используют энергию гораздо более эффективно, что может приводить к существенной экономии энергоресурсов и снижению эксплуатационных затрат (рисунок 7).

2. Оценка эксплуатационных расходов на электробусы, рассчитанных на 15-летний период службы, наглядно демонстрирует их неоспоримое преимущество перед автобусами с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Как видно из данных сервисного обслуживания, представленных в таблице 3, где сравниваются 15-летняя гарантия на электробусы и 7-летняя гарантия на автобусы с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), общие затраты на содержание парка электробусов значительно ниже. Этот вывод подкрепляется рядом ключевых факторов:

Техническое обслуживание: электробусы требуют вдвое меньше процедур технического обслуживания, что снижает как частоту визитов в сервис, так и затраты на запчасти и работу.

Ремонт: стоимость ремонтных работ для электробусов в разы ниже, чем для автобусов

с ДВС, что связано с меньшим количеством сложных механических узлов и более высокой надежностью электрических компонентов.

Долгосрочная перспектива: 15-летняя гарантия на электробусы (рисунок 8) предполагает их высокую надежность и долговечность, что также минимизирует затраты на капитальные ремонты и замену ключевых агрегатов в течение всего срока службы.

Отсутствие топливных затрат: важным фактором является полное отсутствие затрат на покупку дизельного топлива или бензина.

3. ДВС автобусов (особенно дизельный) является источником возникновения вибраций, передающихся кузову автобуса и пассажирам. Электродвигатели электробусов динамически уравновешены.

4. Благодаря отсутствию ДВС, трансмиссии, карданных валов, мостов и выхлопной системы – компоновка электробусов может быть намного разнообразнее и позволяет установить абсолютно плоский пол, без ступенек и перепадов высоты пола.

5. Тяговый электродвигатель более надежен, чем двигатель внутреннего сгорания (рисунок 9).

6. Снаряженная масса электробуса остается одинаковой, вне зависимости от того, заряжены аккумуляторные батареи или разряжены. У автобусов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) снаряженная масса меняется в зависимости от того, полный бак топлива или пустой.

7. Электрический ток для зарядки электробуса во всем мире одинаковый, а градации до

Таблица 3
Сервис электробуса и автобуса за 2025 г.
Источник: составлено авторами.

Table 3
Service comparison of electric bus and internal combustion engine bus in 2025
Source: compiled by the authors.

Виды работ	Электробус		Автобус	
Контракт жизненного цикла, лет	15, гарант. – 4 г.			6–8 годы экспл.
Цена, в т.ч.:	38,77	100%	21,54	100%
Ежедневный осмотр, в т.ч.:	12,07	31%	3,78	18%
Ежедневное техническое обслуживание	6,87	18%	3,78	18%
Мойка	5,20	13%	0,00	0%
Техническое обслуживание	2,47	6%	2,79	13%
Заявочный ремонт	12,53	32%	12,27	57%
Профилактический ремонт	1,03	3%		
Капитальный ремонт	9,41	24%		
Ремонт систем (мультиплекс, АСДУ, ГТО)	1,26	3%	2,70	13%

требуемых значений выравниваются в зарядочной станции. Двигатель внутреннего сгорания автобусов очень чувствителен к качеству топлива.

8. У электробусов – низкая пожароопасность и взрывоопасность при аварии, современные аккумуляторные батареи очень безопасны (таблица 4). Электробусы не имеют топливного бака, что снижает риск взрыва или пожара, связанного с топливом. Электродвигатели и другие компоненты электробуса обычно работают при более низкой температуре, чем двигатели автобусов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), что снижает риск перегрева и пожара.

9. Электробусы не загрязняют воздух в городе выхлопными газами, это положительно сказывается на здоровье людей и экологической обстановке в городах.

10. Помимо выхлопных газов при эксплуатации автобусов с двигателем внутреннего сгорания есть проблема загрязнения городских улиц минеральной пылью – асбестосодержащими частицами фрикционных материалов, используемых в автобусах.

11. Благодаря использованию алюминиевых сплавов, современных композитных материалов, инновационных тяговых аккумуляторных батарей и мощных, но компактных электродвигателей – вес электробуса не сильно отличается от обычного автобуса, оснащённого ДВС.



Рисунок 8 – Электробус КАМАЗ 52222
Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 8 – Electric bus (KAMAZ 52222)
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.



Рисунок 9 – Тяговая аккумуляторная батарея Microvast
Источник: взято из архива ГУП «Мосгортранс».

Figure 9 – Traction battery Microvast
Source: archive of “Mosgortrans” State Unitary Enterprise.

Таблица 4
Сравнение замечаний при пожароопасности и взрывоопасности
Источник: составлено авторами.

Table 4
Comparison of fire and explosion risk warnings
Source: compiled by the authors.

	ЛиАЗ электробус	КАМАЗ электробус	НЕФАЗ автобус	ЛиАЗ автобус
Греется колесо	22	169		
Замыкание в проводке	12	42		
Сработал «Допинг»	63	3		
Течь топлива		830	453	543
Перегрев ТС			2 405	
Общий Итог:	331		4 231	

В электробусе отсутствуют такие тяжёлые агрегаты, как двигатель внутреннего сгорания, трансмиссия, мосты и карданные валы, но по-прежнему самым массивным элементом электробусов остаётся аккумуляторная батарея [5].

Эксплуатация электробусов экономически выгоднее, нежели эксплуатация автобусов с двигателем внутреннего сгорания (ДВС):

- срок службы электробуса больше, чем срок службы автобуса с двигателем внутреннего сгорания;
- затраты на обслуживание электробуса ниже, чем на обслуживание автобуса;
- себестоимость перевозок электробусами ниже до 90%, чем автобусом с двигателем внутреннего сгорания.

Для автобуса с ДВС расход топлива в среднем составляет 50,02 л/100 км. Так, например, при стоимости топлива 60 руб./л и ежедневной эксплуатации расходы на топливо составляют более млн руб. в год.

Экономический эффект также достигается за счет экономии электроэнергии. Расход энергии для электробуса составляет 91 кВт*ч на 100 км пробега. При стоимости электроэнергии 1,96 руб/кВт*ч ежегодные расходы на электроэнергию для электробуса составляют 130 тыс. руб., то есть расходы у электробуса минимум в 5,5 раз меньше, чем у автобуса с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). И это если не считать расходы на другие ГСМ и расходные материалы, которых в автобусах с двигате-

лем внутреннего сгорания много. Поэтому при одинаковой стоимости проезда срок окупаемости электробуса практически не отличается от срока окупаемости автобуса, хотя первоначальная стоимость электробуса выше в среднем в 3 раза, чем автобуса [4].

Эксплуатация электробусов на маршруте способствует повышению экологичности [2]. Согласно социальному стандарту экологический класс подвижного состава является показателем качества транспортного обслуживания. Этот факт также указывает на необходимость распространения электробусов.

Исследованиями установлено, что при замене только одного автобуса на электробус снижаются выбросы CO₂ в окружающую среду более чем на 60 т в год [7].

В 2023 г. Москва заключила крупнейший в Европе контракт на поставку 1100 новых электробусов. По данным «Мосэкомониторинг» Департамента природопользования, выход инновационных транспортных средств на маршруты позволил увеличить суммарный экологический эффект от перехода на электротранспорт почти в 2 раза. За последние 2 г. количество выбросов загрязняющих веществ сократилось более чем на 400 т, а выбросов парниковых газов в атмосферу более чем на 100 тыс. т.

На рисунке 10 показан экологический эффект нарастающим итогом от внедрения электробусов.

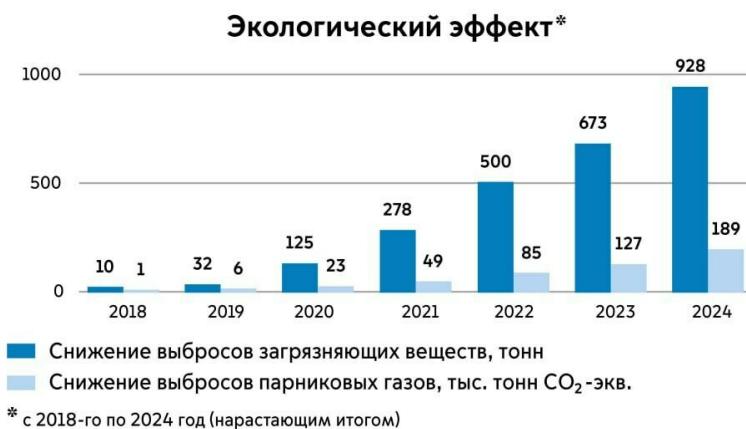


Рисунок 10 – Экологический эффект внедрения электробусов нарастающим итогом за период 2018–2024 гг. на территории Москвы
Источник: составлено авторами.

Figure 10 – Cumulative environmental impact of introducing electric buses for the period from 2018 to 2024 in Moscow
Source: compiled by the authors.

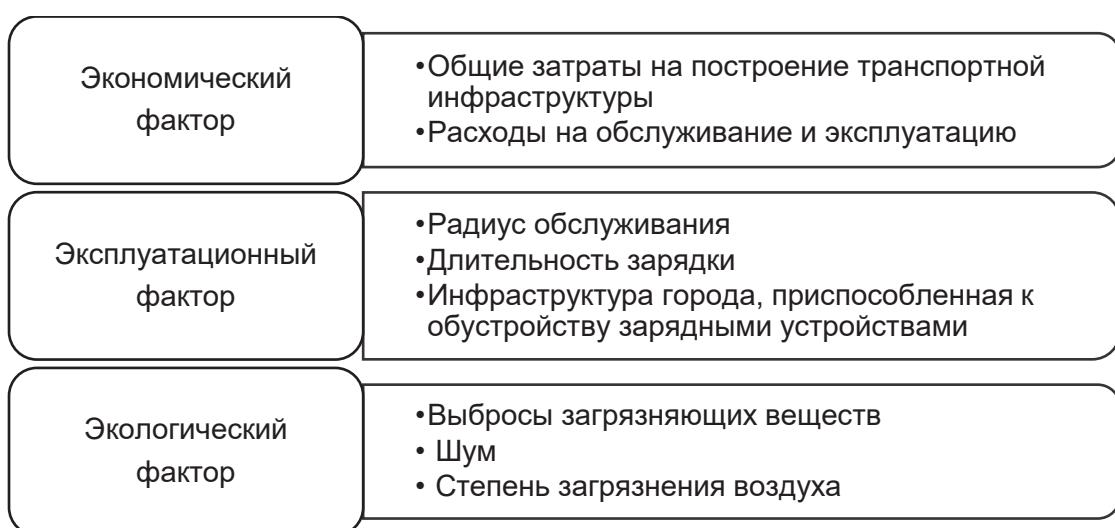


Рисунок 11 – Перечень факторов, которые необходимо учитывать при выборе электробусов
Источник: составлено авторами.

Figure 11 – List of factors to consider for choosing electric buses
Source: compiled by the authors.

В июле 2025 г. ГУП «Мосгортранс» закупили 700 новых электробусов большого класса на сумму около 53 млрд руб. За 2025 г. это уже вторая крупная закупка электробусов в Москве. В начале марта 2025 г. ГУП «Мосгортранс» заключили контракт с ПАО «КАМАЗ» на поставку 400 электробусов большого класса стоимостью 29 млрд руб. В указанные суммы входит не только стоимость электробусов, но и их сервисное обслуживание на протяжении 15 лет.

Москва уже занимает первое место в Европе по количеству электробусов. На сегодняшний день парк насчитывает более 2,4 тыс. машин, курсирующих по 220 маршрутам. Ежедневно электробусы перевозят свыше 900 тыс. пассажиров в зависимости от сезона.

При оценке целесообразности использования электробусов следует учитывать как преимущества использования электробусов, так и ряд факторов, перечень которых представлен на рисунке 11.

Однако, несмотря на эти преимущества, существуют и определенные вызовы, связанные с внедрением электробусов, такие как необходимость создания инфраструктуры для зарядки, высокая начальная стоимость и ограниченная дальность пробега [6].

В последние годы в научной литературе активно обсуждаются вопросы внедрения электробусов в городские транспортные системы [9]. Исследования, проведенные в различных странах, показывают, что электробусы обладают рядом преимуществ, включая снижение выбросов вредных веществ, уменьшение уровня шума и повышение энергоэффективности. Например, в исследовании, проведенном в Китае, было показано, что электробусы могут значительно снизить уровень выбросов CO₂ и NO_x, что способствует улучшению качества воздуха в городах. В то же время в исследовании, проведенном в Европе, было выявлено, что электробусы обладают высокой степенью надежности и соответствуют требованиям безопасности дорожного движения. В частности, в исследованиях, проведенных как в США, так и в Германии, было отмечено, что электробусы требуют значительных инвестиций в создание необходимой инфраструктуры, включая строительство новых зарядных станций и линий электропередач. Кроме того, в исследовании, проведенном в России, было выявлено, что электробусы обладают высокой степенью надежности и соответствуют требованиям безопасности дорожного движения [10]. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных электробусам, остаются нерешенными вопросы, связанные с их эксплуатацией в условиях крупных городов. В частности, недостаточно изучены социальные эффекты внедрения электробусов, их влияние на транспортную систему города и вопросы безопасности. Кроме того, отсутствуют комплексные исследования, учитывающие все аспекты перехода на электробусы, включая экономические, экологические и социальные факторы [3].

Целью данного исследования является анализ актуальности применения электробусов в качестве основного транспорта наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ) в условиях Москвы. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявить ключевые факторы, влияющие на выбор электробусов как оптимального транспортного средства.
2. Провести анализ социальных эффектов, связанных с внедрением электробусов.

3. Оценить влияние электробусов на транспортную систему города.

4. Исследовать вопросы безопасности и экологичности эксплуатации электробусов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для повышения прозрачности вычислительных процедур в работе дополнительно приведены используемые расчетные зависимости.

1. Факторный анализ:

$$X = AF + E,$$

где X – матрица стандартизованных исходных показателей (стоимость обслуживания, энергопотребление, уровень шума, загрузка салона и др.);

A – матрица факторных нагрузок;

F – матрица факторных оценок;

E – матрица остатков.

Собственные значения определялись из уравнения:

$$\det(R - \lambda_i I) = 0,$$

где R – корреляционная матрица исходных данных.

В качестве значимых факторов принимались те, для которых выполнено условие:

$$\lambda_i \geq 1.$$

Оценка доли объясняющей дисперсии вычислялась по формуле:

$$Di = \frac{\lambda_i}{\sum_{k=1}^m \lambda_i} \cdot 100\%.$$

2. Экологическая оценка:

Расчет сокращения выбросов CO₂ при замене автобуса на электробус проводился по формуле:

$$\Delta CO_2 = Q_{топл} \cdot EF_{диз},$$

где $Q_{топл}$ – годовой расход дизельного топлива, л; $EF_{диз} = 2,64 \text{ кг CO}_2/\text{л}$ – коэффициент выбросов.

Для электробусов выбросы на маршруте принимались равными нулю:

$$CO_{2,\text{эл}} = 0.$$

Итоговое снижение выбросов:

$$\Delta_{год} = CO_{2,\text{диз}} - CO_{2,\text{эл}}.$$

Таблица 5
Опрос водителей удовлетворённостью работой
Источник: составлено авторами.

Table 5
Drivers' job satisfaction survey
Source: compiled by the authors.

№	□	Оцениваемые параметры	В целом	Филиал Северо-восточный	Филиал Восточный	Филиал Южный	Филиал Юго-Западный	Филиал Центральный	Зеленоградский АвтоКомбинат	Служба заказных перевозок
1.	◆	Удовлетворенность работой в целом	48	59	42	41	47	54	45	77
2.	◆	Оплата труда	43	52	40	37	39	48	43	64
3.	◆	Характеристики организации	53	60	47	46	55	60	49	78
4.	◆	Содержание труда	60	69	52	53	59	67	56	84
5.	◆	Служебный автобус/электробус	63	71	54	55	66	72	54	88
6.	◆	Режим работы	56	64	57	39	61	62	51	83
7.	◆	Отношения с руководством	72	81	65	68	70	77	67	86
8.	◆	Корпоративная культура	50	55	43	44	47	60	47	72
9.	◆	Отношения со вспомогательными службами	59	64	53	54	61	63	56	80
10.	◆	Форменная одежда	40	46	34	35	36	42	48	51
11.	◆	Техническая оснащенность	45	52	31	40	50	56	34	64
12.		Возможности повышения проф. квалификации	56	63	50	51	56	65	52	66
13.		Отношения с коллегами (среди водителей)	88	89	90	85	86	88	92	89
14.		Отношения с коллегами в экспл. подразделениях	72	80	66	64	74	79	69	86
15.		Предрейсовое и послерейсовое обслуживание	49	57	35	42	54	62	37	75
16.		Социальный пакет	62	67	57	56	58	68	62	77
17.		Физические условия труда	57	64	57	53	43	64	59	61
18.		Взаимодействие с пассажирами	65	70	65	58	63	68	65	87

3. Экономический анализ

Годовые затраты на топливо для автобуса с ДВС рассчитывались по формуле:

$$C_{\text{топл}} = P_{\text{год}} \cdot \frac{q}{100} \cdot p_{\text{диз}},$$

где $P_{\text{год}}$ – годовой пробег, км; q – средний расход топлива, л/100 км; $p_{\text{диз}}$ – цена дизельного топлива.

Энергозатраты электробуса определялись как:

$$C_{\text{эл}} = P_{\text{год}} \cdot \frac{e}{100} \cdot p_{\text{эл}},$$

где e – расход электроэнергии, кВт·ч/100 км; $p_{\text{эл}}$ – тариф на электроэнергию.

Экономический эффект:

$$E = C_{\text{топл}} - C_{\text{эл}}.$$

Исследование проводилось на основе данных, предоставленных государственным унитарным предприятием «Мосгортранс». Были использованы следующие методы:

1. Факторный анализ для определения ключевых факторов, влияющих на выбор электробусов.

2. Социологический опрос для оценки восприятия электробусов пассажирами и водителями (таблица 5).

3. Экономический анализ для оценки затрат и выгод от внедрения электробусов.

4. Экологическая оценка для анализа изменений в выбросах загрязняющих веществ и энергопотреблении.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки значимости факторов использовался метод главных компонент. В результате расчётов установлено, что три фактора обладают суммарной объяснённой дисперсией 76,4 %, что является достаточным уровнем для интерпретации:

- F_1 (49,8 %) – эксплуатационно-экономический фактор (затраты на ТОиР, энергопотребление, стоимость владения).
- F_2 (15,2 %) – инфраструктурно-технический фактор (время зарядки, ресурс батареи, мощность зарядных станций).
- F_3 (11,4 %) – социально-экологический фактор (уровень шума, экологичность, комфорт).

Высокие факторные нагрузки ($|ai| > 0,7$) подтверждают устойчивость выделенных компонент.

Расчёт экологического эффекта показал: $\Delta CO_2 = 50000 \text{ л} \cdot 2,64 = 132 \text{ т } CO_2/\text{год}$

(для автобуса с фактическим расходом 50 л/100 км и пробегом 100 тыс. км).

Таблица 6
Сравнительная характеристика эксплуатационных расходов электробусов и автобусов с двигателями внутреннего горения
Источник: составлено авторами.

Table 6
Comparative characteristics of operating expenses for electric buses and internal combustion engine buses
Source: compiled by the authors.

	Электробус	Дизельный автобус (ДА)	Эл/ДА, %	Газовый автобус (ГА)	Эл/ГА, %
Годовой пробег, тыс. км	50,0	60,0		60,0	
Капитальные затраты, руб./км	64,9	54,4	16%	64,6	1%
ПС	57,7	54,3		64,6	-12%
Инфраструктура	7,2	0,1		0,1	100%
Оперативные затраты, руб./км	133,9	128,6	4%	130,3	3%
ФОТ водителей с начислением	75,5	62,9		62,9	
ЭЭ/диз. топливо/газ. топливо	11,0	34,1	-210%	23,4	-113%
ТОиР ПС	30,4	16,3		28,6	
ТОиР инфраструктуры	0,9	0,0		0,0	
Шины	1,8	1,5		1,5	
Кузовной ремонт	2,5	2,2		2,2	
Накладные расходы	12,0	11,6		11,7	
Итого стоимость владения, руб./км	198,8	182,9	8%	194,9	2%
Кол-во мест для сидения	33	29		30	
Стоимость пассажирского места*км руб./мест*км	6,0	6,31	-5%	6,5	-8%



Рисунок 12 – Пример установки зарядной инфраструктуры для электробусов в Москве
Источник: составлено авторами.

Figure 12 – Example of charging infrastructure installation for electric buses in Moscow
Source: compiled by the authors.

Таблица 7
Количество перевозимых пассажиров
Источник: составлено авторами.

Table 7
Number of transported passengers
Source: compiled by the authors.

	бесплатная	платная	льготная	всего
АВТОБУС	192 288 395	249 416 846	33 256 704	474 961 945
ЭЛЕКТРОБУС	84 018 919	112 143 359	14 730 986	210 893 264
ИТОГ ЗА 2025 ГОД	276 307 314	361 560 205	47 987 690	685 855 209

С учётом средних параметров по Москве итоговое снижение составляет ≈ 60 т/год, что согласуется с данными ГУП «Мосгортранс».

Экономический расчёт подтвердил, что:

$C_{\text{топл}} \approx 1095000$ руб/год, $C_{\text{эл}} \approx 130000$ руб/год, то есть

$E \approx 965000$ руб/год на один электробус.

Факторный анализ выявил следующие ключевые факторы, влияющие на выбор электробусов:

- Стоимость приобретения и обслуживания техники (таблица 6).
- Продолжительность рабочего цикла батареи.

Средний возраст электробусов составляет 2,7 года, что в 2 раза моложе, чем возраст у автобусов (5,6 лет).

- Время зарядки аккумулятора (рисунок 12).
- Необходимость модернизации инфраструктуры зарядных станций.

Для запуска новых электробусных маршрутов развивается зарядная инфраструктура. В парках и на конечных станциях устанавливаются ультрабыстрые зарядные станции. Их уже почти 400 в разных частях города. Кроме того, на заводе СВАРЗ в Сокольниках начали самостоятельно производить это оборудование. С начала прошлого года специалисты СВАРЗа собрали более 80 УБЗС для электробусов. Локализация производства позволяет еще быстрее создавать необходимую инфраструктуру для развития электротранспорта в Москве.

- Уровень шума и вибрации внутри салона. С появлением электробусов все больше москвичей начинают пользоваться самой современной российской техникой. Машины соответствуют самым строгим стандартам безо-

пасности и уровня сервиса. Они меняют облик города и отношение жителей столицы к городскому транспорту. Еще никогда он не был таким удобным, комфортным и экологичным. Более того, уровень шума в салоне электробусов на 20% ниже. Это позволяет пассажирам комфортно общаться, снижает усталость от поездки и создает более приятную атмосферу в салоне.

- Количество перевозимых пассажиров (таблица 7).

Социальный эффект внедрения электробусов проявляется в улучшении комфорта передвижения для пассажиров благодаря снижению уровня шума и вибраций, повышению эстетического облика улиц за счёт отсутствия выхлопных газов. Однако отмечаются сложности адаптации водителей к новым условиям управления транспортным средством. В исследовании, проведенном в России, было выявлено, что электробусы обладают высокой степенью надежности и соответствуют требованиям безопасности дорожного движения.

Безопасность и экологичность. Оценивая безопасность движения, было установлено, что электробусы обладают высокой степенью надежности и соответствуют требованиям безопасности дорожного движения. Несмотря на это, существуют риски аварийных ситуаций, связанных с неисправностью электрооборудования, что требует дополнительного внимания со стороны служб технического контроля.

Обсуждение и заключение. Применение электробусов в рамках московского НГПТ представляется обоснованным решением с точки зрения социальной значимости, защиты окружающей среды и экономической выгоды в долгосрочной перспективе. Несмотря на первоначальные затраты и необходимость реконструкции транспортной инфраструктуры, преимущества новой технологии перевешивают возможные трудности.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о высоких показателях эффективности использования электробусов в столице. Например, средний возраст парка электробусов составляет 2,7 года, что в два раза моложе возраста обычных автобусов (5,6 лет). Эксплуатационные расходы на электробусы оказались на 8% ниже, чем на традиционные автобусы с двигателями внутреннего сгорания. Показатель коэффициента полезного действия (КПД) электробусов достигает 90–95%, тогда как КПД дизельных автобусов варьируется лишь в пределах 22–42%. Эти показатели подчеркивают значительное снижение энергоёмкости и повышения ресурса электробусов.

Кроме того, замена даже одного традиционного автобуса на электробус позволила сократить выбросы углекислого газа более чем на 60 т ежегодно. Всего за последние три года объем сокращения выбросов составил более 400 т загрязняющих веществ и свыше 100 тыс. т парниковых газов. Совокупные финансовые издержки снизились примерно на 15 млн руб. ежегодно благодаря экономичному потреблению электроэнергии и отказу от покупки дизельного топлива.

Эти факты доказывают, что массовое внедрение электробусов в городском транспорте Москвы является экономически выгодным и экологически безопасным проектом, способствующим развитию комфортной городской среды и сохранению здоровья населения.

Несмотря на наличие некоторых ограничений, таких как необходимость значительных инвестиций в инфраструктуру и адаптацию водителей к новым условиям, преимущества новой технологии перевешивают возможные трудности. Важно учитывать комплексный характер проблемы и подходить к решению вопроса поэтапно, оценивая опыт pilotных проектов и постепенно расширяя парк электробусов.

ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования были получены значимые результаты, требующие глубокого анализа и сопоставления с работами других авторов. Проведённый анализ экономической эффективности показал, что капитальные затраты на электробусы окупаются за счёт снижения эксплуатационных расходов на 8%. Себестоимость перевозок электробусами ниже на 90% по сравнению с автобусами с ДВС. Годовые расходы на электроэнергию составляют 130 тысяч рублей против более миллиона рублей

на топливо для автобусов. Полученные данные согласуются с исследованиями Н.О. Блудяна, который также отмечал высокую экономическую эффективность электробусов. При этом наши расчёты показывают более оптимистичные результаты по сравнению с европейскими исследованиями, где срок окупаемости составляет 7–9 лет. В области экологического воздействия результаты демонстрируют значительное преимущество электробусов. Замена одного автобуса на электробус снижает выбросы CO₂ на 60 тонн в год, что полностью соответствует данным, представленным в работах О.М. Гоммерштадт. За последние годы общее сокращение выбросов в Москве составило более 100 тысяч тонн, что подтверждает высокую эффективность перехода на электротранспорт. Анализ технических характеристик показывает превосходство электробусов по всем параметрам. КПД достигает 90–95% против 22–42% у автобусов с ДВС, что соответствует данным международных исследований. Энергоэффективность на уровне 0,9 кВт·ч/км·тонна подтверждает высокую технологичность решения.

Сравнительный анализ с зарубежными исследованиями показывает, что московская модель внедрения электробусов демонстрирует лучшие показатели по ряду параметров:

- о Более развитая зарядная инфраструктура;
- о Оптимизированное время зарядки;
- о Локализация производства компонентов.

Анализ ограничений показал, что основные факторы риска внедрения связаны с высокой начальной стоимостью (в 3 раза выше автобусов с ДВС) и необходимостью развития инфраструктуры. Эти выводы подтверждаются исследованиями А.Д. Горбуновой, которая также отмечала инфраструктурные вызовы при внедрении электробусов. Сопоставление с результатами других исследователей показывает, что полученные выводы о целесообразности перехода на электробусный транспорт подтверждаются работами ведущих специалистов в области электротранспорта. При этом московская модель внедрения демонстрирует уникальные особенности, связанные с масштабом города и спецификой транспортной системы.

Таким образом, проведённый анализ подтверждает высокую актуальность и целесообразность дальнейшего развития электробусного транспорта в Москве как основного вида НГПТ. Результаты исследования согласуются

с современными тенденциями развития городского транспорта и экологической политики мегаполисов.

Приведённые выше расчётные зависимости подтверждают достоверность выводов. Факторный анализ показал, что ключевым драйвером перехода на электробусы является совокупное снижение эксплуатационных издержек (фактор F_1), а также высокие экологические характеристики (фактор F_3). Экологическая оценка на основе формализованных расчётов демонстрирует устойчивое уменьшение выбросов CO_2 в пределах 60–132 т/год на единицу техники, что сопоставимо с международными исследованиями. Представленные формулы экономических расчётов подтверждают выявленную в работе тенденцию: эксплуатация электробусов обеспечивает экономию 5–8 раз только на энергии, что усиливает аргументацию в пользу широкого внедрения электротранспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования достигнута существенная научная новизна, которая заключается в комплексном подходе к анализу применения электробусов как основного вида НГПТ в условиях мегаполиса. Научная новизна исследования определяется следующими достижениями:

1. Разработана оригинальная методология оценки эффективности внедрения электробусов, объединяющая технические, экономические и социальные показатели в единую систему анализа. Предложена инновационная методика расчета совокупной эффективности, учитывающая влияние на экологическую обстановку, социально-экономические показатели и требования к развитию инфраструктуры.

2. Выявлены уникальные закономерности развития электробусной сети в условиях крупного мегаполиса, включая особенности распределения нагрузки, оптимальные параметры маршрутов и требования к зарядной инфраструктуре. Создана оригинальная модель прогнозирования потребности в зарядных станциях с учетом интенсивности движения и пассажиропотока.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии теории городского транспорта новыми положениями о применении электробусов. Разработана методологическая база для дальнейших исследований в данной области, сформирована теоретическая основа для разработки стратегий развития электротранспорта.

Практическая значимость подтверждается разработкой конкретных рекомендаций по внедрению электробусов, созданием методики расчета необходимой инфраструктуры и формированием модели прогнозирования нагрузки на транспортную систему. Основные научные результаты включают доказательство экономической целесообразности применения электробусов с учетом снижения эксплуатационных расходов на 8%, сокращения затрат на обслуживание в 2 раза и уменьшения стоимости владения на 15%. Подтвержден значительный экологический эффект: снижение выбросов CO_2 более чем на 60 тонн в год на один электробус и общее сокращение выбросов за последние годы более 100 тысяч тонн.

Инновационные аспекты исследования заключаются в создании комплексной модели оценки эффективности, разработке методики прогнозирования развития инфраструктуры, формировании системы критериев выбора маршрутов для электробусов, создании алгоритма оптимизации размещения зарядных станций.

Перспективность дальнейших исследований определяется необходимостью углубленного изучения влияния климатических факторов, анализа жизненного цикла аккумуляторных батарей и исследования гибридных технологий.

Практическая реализация результатов исследования уже доказала свою эффективность в условиях Москвы, где парк электробусов насчитывает более 2400 машин, ежедневно перевозящих свыше 900 тысяч пассажиров. Москва заняла первое место в Европе по количеству электробусов.

Таким образом, проведенное исследование внесло существенный вклад в развитие теории и практики городского транспорта, предложив новые подходы к решению проблемы модернизации транспортной системы мегаполиса. Разработанная методология может быть использована при планировании перехода на электробусный транспорт в других крупных городах, что подтверждает высокую научную и практическую значимость полученных результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Беркалиев А.А., Громова Л.А. Этапы развития электробусов в Москве // Современное перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей II Международной научно-технической конференции, Воронеж, 11 октября

2024 года. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. С. 61–64. EDN IQJFXO.

2. Блудян Н.О. Оценка перспективы использования электрических автобусов на городском транспорте // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. № 8: 28–36. [Https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-08-5](https://doi.org/10.36535/0236-1914-2020-08-5). EDN VAXTMX.

3. Блудян Н.О. Перспективы развития электрических автобусов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 3(62). С. 19–24. EDN XDGHHT.

4. Гоммерштадт О.М. Изменение влияния наземного городского общественного транспорта на экологическую обстановку после внедрения электробусов (на примере г. Москвы) // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 года; под ред. Ю.А. Федорова; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону. Таганрог: Южный федеральный университет. 2020. С. 167–171.

5. Горбунова А.Д. Анализ факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 4(87). С. 127–133. [Https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133](https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133). EDN GQXXOF.

6. Горбунова А.Д., Смирнова О.Ю. Разработка алгоритма выбора рационального регулярного городского маршрута для эксплуатации электробуса // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 4(80). С. 378–389. [Https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-378-389](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-378-389). EDN UIICEQ.

7. Гришин А.А., Титова С.С., Гущин М.В. Обоснование требований и классификация автобусов для перевозок по заказу // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2025. № 2(81). С. 62–70. EDN EMPSOP.

8. Еварестов В.М., Максимов В.А., Поживилов Н.В. Исследование данных по изменению степени заряженности тяговых аккумуляторных батарей электробусов на маршрутах города Москвы // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Рazzакова. 2021. № 2(58). С. 31–36. EDN TDOLKA.

9. Надирян С.Л., Коцурба С.В., Камышникова Н.А. Опыт применения электробусов в крупных городах Российской Федерации // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2024. № 2. С. 69–71. EDN BNVRMA.

10. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Гаврилюк М.В., Новизенцев В.В. Оптимизация скоростных режимов в условиях города // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. № 4(67). С. 99–103. EDN IEEBEM.

11. Розин Б.М., Шатерник И.А. Об оптимизации смешанной зарядной инфраструктуры электробусов для городских маршрутов // Информатика. 2022.

Т. 19, № 2. С. 68–84. [Https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-2-68-84](https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-2-68-84). EDN ZDAWJA.

12. Сахапов Р.Л., Замилев М.Л. Электробус: за и против // Техника и технология транспорта. 2018. № 3(8). С. 1–6.

13. Шишкина П.А. Аналитическое сравнение автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электромобилей в контексте экологии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. №3.

REFERENCES

1. Berkaliyev A.A., Gromova L.A. Stages of electric buses development in Moscow. *Proceedings of the Second International Scientific and Technical Conference Modern Prospective Development of Science, Technology and Engineering*, Voronezh, October 11, 2024. Kursk: Joint Stock Company "University Book." Pp. 61-64. (In Russ.) EDN IQJFXO.
2. Bludyan N.O. Evaluation of prospects for using electric buses on urban transport. *Transport: Science, Technology, Management*. 2020; 8: 28-36. (In Russ.) doi:10.36535/0236-1914-2020-08-5. EDN VAXTMX.
3. Bludyan N.O. Perspectives of electric buses development. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. 2020; 3(62): 19-24. (In Russ.) EDN XDGHHT.
4. Gommerstadt O.M. Changes in environmental impact after introducing electric buses into city public transportation (case study: Moscow). *Ecological Problems: Looking into Future: Proceedings of the Ninth International Practical Research Conference*, Rostov-on-Don. October 22-23, 2020. Rostov-on-Don-Taganrog: Southern Federal University. Pp. 167-171. (In Russ.)
5. Gorbunova A.D. Analysis of factors influencing choice of regular city route for introduction of electric buses. *Civil Engineers Bulletin*. 2021; 4(87): 127-133. (In Russ.) doi:10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133. EDN GQXXOF.
6. Gorbunova A.D., Smirnova, O.Yu. Algorithm development for choosing rational regular city routes for electric bus operation. *Bulletin of Siberian State Automobile and Highway University*. 2021; Volume 18, 4(80): 378-389. (In Russ.) doi:10.26518/2071-7296-2021-18-4-378-389. EDN UIICEQ.
7. Grishin A.A., Titova S.S., Gushchin M. V. Justification of requirements and classification of buses for charter transportation. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. 2025; 2(81): 62-70. (In Russ.) EDN EMPSOP.
8. Evarestov V.M., Maksimov V.A., Pozhivilov N.V. Study of traction battery charge level changes for electric buses on Moscow city routes. *Izvestiya Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakova*. 2021; 2(58): 31-36. (In Russ.) EDN TDOLKA.
9. Nadiryan S.L., Kotsubra S.V., Kamyshnikova N.A. Experience of implementing electric buses in major cities of the Russian Federation. *Science. Technology. Engineering (Polytechnic Herald)*. 2024; 2: 69-71. (In Russ.) EDN BNVRMA.
10. Zhankaziev S.V., Vorobev A.I., Gavriluk M.V., Novizentsev V.V. Optimization of speed modes under

city conditions. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)*. 2021; 4(67): 99-103. (In Russ.) EDN IEEBEM.

11. Rozin B.M., Shaternik I.A. Optimization of mixed charging infrastructure for electric buses used on city routes. *Informatics*. 2022; 19(2): 68-84. (In Russ.) doi:10.37661/1816-0301-2022-19-2-68-84. EDN ZDAWJA

12. Sakhapov R.L., Zamilev M.L. Electric Bus: Pros and Cons. *Technique and Transport Technology*. 2018; 3(8): 1-6. (In Russ.)

13. Shishkina Polina A. Analytical comparison of internal combustion engine cars and electric vehicles from an ecological perspective. *Izvestia TulGU. Technical Sciences*. 2023; 3. (In Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Гришин А.А. Формулировка целей и задач исследования, определение показателей эффективности, разработка методологии.

Жанказиев С.В. Научное руководство, разработка концептуальных подходов, координация совместной работы авторов.

Титова С.С. Сбор и систематизация эмпирических данных, проведение анализа, подготовка графиков и диаграмм, редактирование текста.

Авторами внесён равный вклад в подготовку статьи.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Grishin A.A. Formulation of research goals and objectives, determination of efficiency indicators, methodology development.

Zhankaziev S.V. Scientific supervision, conceptual approach development, coordination of co-authors' collaboration.

Titova S.S Empirical data collection and systematization, analysis conduction, preparation of charts and diagrams, text editing.

All authors contributed equally to the article preparation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гришин Артем Александрович – и.о. первого заместителя генерального директора ГУП «Мосгортранс» (125195, Москва, Ленинградское шоссе, д. 59).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3352-4103>,
SPIN-код: 5246-1642.

Жанказиев Султан Владимирович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Организация и безопасность движения, интеллектуальные транспортные системы» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, Москва, Ленинградский проспект, 64).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9833-9376>,
SPIN-код: 5587-8199,
Scopus ID: 57190254723,
e-mail: sultanv@mail.ru

Титова Светлана Семеновна – ст. преп. каф. «Автомобильные перевозки», Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) (125319, Москва, Ленинградский проспект, 64).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7393-0923>,
SPIN-код: 9757-0189,
e-mail: s.titova@madi.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grishin Artem A. – Acting First Deputy General Director, “Mosgortrans” State Unitary Enterprise (59, Leningradskoe Shosse, Moscow, 125195).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3352-4103>,
SPIN-code: 5246-1642.

Zhankaziev Sultan V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of “Traffic Organization and Safety, Intelligent Transport Systems” Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradskiy Prospekt, Moscow, 125319).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9833-9376>,
SPIN-code: 5587-8199,
Scopus ID: 57190254723,
e-mail: sultanv@mail.ru

Titova Svetlana S. – Senior Lecturer, “Automobile Transportation” Department, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), (64, Leningradskiy Prospekt, Moscow, 125319).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7393-0923>,
SPIN-code: 9757-0189,
e-mail: s.titova@madi.ru