

УДК 625.033.34

## Анализ влияния эксплуатационных факторов на энергетическую эффективность электромобилей, используемых в производственной деятельности ОАО «РЖД»

Я. В. Популов, А. А. Комяков

Омский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, Омск, Омская обл., 644046, Карла Маркса просп., 35

**Для цитирования:** Популов Я. В., Комяков А. А. Анализ влияния эксплуатационных факторов на энергетическую эффективность электромобилей, используемых в производственной деятельности ОАО «РЖД» // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 1. — С. 102–111. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-1-102-111

### Аннотация

**Цель:** Проанализировать влияние различных эксплуатационных показателей на расход электроэнергии электромобилями на основе эмпирических данных, полученных в результате опытной эксплуатации. **Методы:** Параметрическая статистика, сравнение эксплуатационных показателей электробусов, анализ аналитических выражений. **Результаты:** Проведено сравнение средних удельных эксплуатационных затрат электромобилей и бензиновых автомобилей. Для кластера поездок в населенном пункте наиболее значимыми влияющими факторами являются пассажирооборот и связанные с ним суточный пробег и количество перевезенных пассажиров. Наблюдается сильная отрицательная связь этих факторов с удельным расходом электроэнергии электромобилем. Увеличение пассажирооборота приводит к росту удельного расхода энергии из-за увеличения массы электробуса, что требует большего расхода энергии на разгон и торможение. **Практическая значимость:** Продемонстрировано влияние факторов на энергетическую эффективность электромобилей, их учет способствует внедрению электромобилей в производственную деятельность ОАО «РЖД».

**Ключевые слова:** ОАО «РЖД», электромобиль, пассажирооборот, корреляция.

Электрический автомобильный транспорт представляет собой транспортное средство, функционирующее на основе преобразования электрической энергии в механическую, что обеспечивает его движение [1]. Данное определение подчеркивает принципиальные отличия между электромобилями и традиционными автомобилями с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), использующими сжигание углеводородного топлива для создания энергии.

В центре конструкции электромобиля расположен электродвигатель, представляющий собой

достаточно сложный технологический элемент, инициирующий преобразование, как было отмечено выше, электрической энергии, аккумулируемой в батареях, в механическую работу. Литий-ионные аккумуляторы, являемые стандартом в современном электрическом автомобильном транспорте, обладают высокой энергетической плотностью и более длительным сроком службы, что делает их предпочтительными для использования в данной области. Необходимо отметить, что аккумуляторы заряжаются от достаточно широкого спектра различного рода внешних

источников электроэнергии, включая общественные электросети, и как результат могут подвергаться процессам как быстрой, так и медленной зарядки, в зависимости от способов и технологий, используемых в зарядных станциях.

Осуществление функционирования электрического приводного механизма начинается с преобразования электрической энергии, содержащейся в аккумуляторе, в механическую, что достигается при помощи системы управления электродвигателем. Наиболее распространенные типы электродвигателей в современных электрических транспортных средствах — бесщеточные постоянные двигатели (BLDC) и асинхронные двигатели переменного тока, которые, в отличие от топливных аналогов, обеспечивают моментальный крутящий момент и повышенную эффективность, что в конечном итоге положительно сказывается на динамике движения.

Современные электромобили также имплементируют системы рекуперации энергии [2], что позволяет эффективно преобразовывать кинетическую энергию, возникающую при торможении, в электрическую. Рекуперированная энергия возвращается в аккумулятор, что снижает общую потребность в подзарядке и, соответственно, увеличивает ресурс самой батареи. Управление этим процессом осуществляется через сложные контроллеры, которые взаимодействуют с различными датчиками [3], обеспечивая оптимизацию работы системы в зависимости от текущих условий эксплуатации.

По прогнозам экспертов [4–6], к 2025 году общее количество электромобилей в мире составит от 25 до 30 миллионов единиц, что свидетельствует о тенденции снижения доли автомобилей с традиционными двигателями внутреннего сгорания. Бесспорно, электромобили становятся все более популярными в качестве повседневных транспортных средств не только в производственной деятельности отдельных предприятий, но и для частных лиц.

В работе [7] авторы исследовали затраты первичной энергии на протяжении жизненного цикла автомобилей, включая затраты на его производство, эксплуатацию и утилизацию (табл. 1). Результаты исследования показывают, что затраты полной энергии для бензинового автомобиля в 1,87 раза превышают затраты электромобилей, а по энергии, получаемой из ископаемого топлива, это соотношение составляет 2,1 раза. Помимо разницы в объемах потребления энергии, разница в ценах на электроэнергию и жидкое моторное топливо также делает эксплуатационные расходы электромобилей существенно ниже, чем у автомобилей с ДВС.

В статье [8] исследуется вопрос издержек, связанных с выбросами загрязняющих веществ при эксплуатации автомобильного транспорта с различными типами двигателей. Установлено, что «...издержки, обусловленные выбросами парниковых газов от электромобилей на протяжении жизненного цикла, ниже издержек для автомо-

Таблица 1. Затраты первичной энергии на протяжении жизненного цикла электромобилей и бензиновых автомобилей [7]

Потребление	Бензиновый автомобиль	Электромобиль
Полная энергия (кДж/100 км)	421 153,46	224 727,55
Всего ископаемого топлива (кДж/100 км)	392 638,76	190 884,40
Уголь (кДж/100 км)	8134,86	122 974,21
Природный газ (кДж/100 км)	56 852,12	64 132,90
Нефть (кДж/100 км)	327 651,78	3777,29
Вода (л/100 км)	117,09	370,52

Таблица 2. Обоснование выбора эксплуатационных показателей электробусов, влияющих на расход электроэнергии

Показатель	Обоснование
Пробег	Выступает в качестве основной переменной, напрямую влияющей на показатели работы электромобиля, способствуя выявлению закономерности в его расходе. Отметка пройденного расстояния легко измеряема и регулярно фиксируема как отдельный параметр, обеспечивая высокую степень достоверности и последующей сопоставимости данных
Среднее время электробуса в пути	Позволяет проводить сопоставительные исследования между различными периодами и маршрутами, способствуя выявлению закономерностей в работе электробусов и определению факторов, влияющих на их использование
Количество пассажиров	Количество перевезенных пассажиров может повлиять на массу электромобиля, а также на количество остановок в пути следования
Погодные условия (средняя температура воздуха)	Служит основой для сравнения эксплуатационных показателей электробусов в различных климатических условиях, позволяя выявить зависимости между температурными факторами и эффективностью работы электробусов
Пассажирооборот (пасс-км)	Отражает реальную работу электробусов по перевозке пассажиров. Показатель учитывает не только расстояние, пройденное электробусом, но и количество перевезенных пассажиров

бия с ДВС примерно на 70 руб. в расчете на 100 км пробега...».

В работе [9] выполнено сравнение средних удельных эксплуатационных затраты электромобилей и бензиновых автомобилей. Установлено, что эксплуатационные расходы, выраженные в долларах США в расчете на 100 км пробега, для бензиновых автомобилей более чем в 6 раз выше, чем для электромобилей (13,5\$/100 км против 2,07\$/100 км).

ОАО «РЖД» является компанией, которая активно использует автомобили в производственной деятельности. Средний возраст используемых в технологических и общехозяйственных процессах автомобилей составляет 11,9 года, при этом расчетный срок полезного использования авто составляет 12,2 года. Изношенность автомобильного парка ОАО «РЖД» практически составляет 90 %, что предполагает направление инвестиций не только на его обновление, но и разработку пилотных проектов по внедрению более безопасных и экологичных видов автомобильного транспорта — электромобилей [10, 11]. Стратегический план (сценарий, утвержденный в Концепции по развитию производства и использования электрического автотранспорта,

к 2030 году [11]), предусматривающий использование не менее 3000 электромобилей к 2030 году, отражает необходимость поиска экологически чистых и экономически выгодных решений, способных оптимизировать производственные процессы и обеспечить устойчивое развитие транспортной инфраструктуры.

Тем не менее на пути к формированию парка электромобилей ОАО «РЖД» существует несколько препятствий. Наиболее существенный из них — экономический барьер, заключающийся в высокой стоимости автомобилей, в основном вызванной ценами на аккумуляторные батареи. Кроме того, три ключевых технологических ограничения сдерживают более широкий переход в деятельности ОАО «РЖД» на электрический транспорт — недостаточный запас хода электромобилей по сравнению с автомобилями, оснащенными ДВС, недостаточное развитие существующей на текущий момент зарядной инфраструктуры, а также достаточно длительное время, затрачиваемое на процесс зарядки батарей электромобилей.

В качестве объекта исследования принят электробус NEXT Electro, предназначенный для перевозки пассажиров (до 15 человек) и эксплу-

атирующийся на Западно-Сибирской железной дороге. Электромобиль выполнен на платформе ГАЗ и имеет тяговую аккумуляторную батарею емкостью 48 кВт·ч, обеспечивающую запас хода до 140 км.

Для проведения анализа были выбраны несколько факторов, влияющих на энергоэффективность, обоснование выбора представлены в табл. 2.

Значения указанных факторов фиксировались за каждые сутки эксплуатации электромобиля в 2024 г.

В ходе исследования был рассчитан удельный расход электроэнергии электробусов, выраженный в кВт·ч/100 км. Анализ распределения удельного расхода показал, что он близок к нормальному закону распределения (рис. 1). Следовательно, при статистическом анализе можно применять методы параметрической статистики.

За весь период наблюдений было получено 267 значений удельного расхода энергии. Однако с помощью правила «трех сигм» были исключены те значения, которые могли являться промахами. Таким образом, после удаления промахов объем выборки составил 264 значения.

Основные статистические параметры выбранных факторов (после удаления промахов), а также удельного расхода электроэнергии приведены в табл. 3. Нормативный удельный расход электроэнергии в паспортных данных для электромобиля

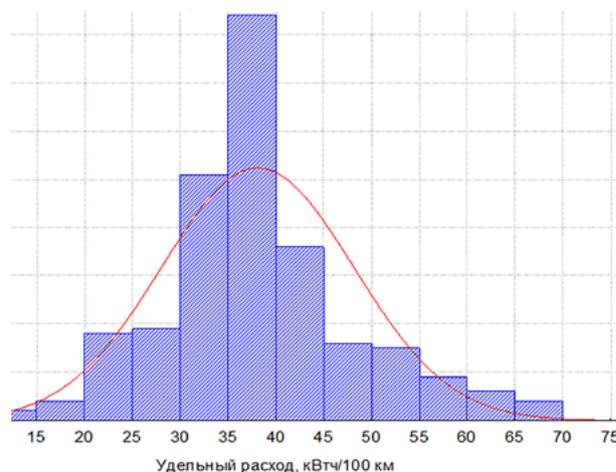


Рис. 1. Гистограмма закона распределения удельного расхода электроэнергии

отсутствует. Однако поиск аналогов в литературе [12] показал, что по результатам испытаний схожих автотранспортных средств удельный расход электроэнергии составил около 39,0 кВт·ч/100 км, что коррелируется с полученными в настоящем исследовании результатами.

Анализ полученных результатов показал, что большая часть поездок выполнена в пределах населенного пункта, так как математическое ожидание средней скорости невелико и составляет 16 км/ч.

В то же время ряд поездок выполнены за пределами населенного пункта (максимальная средняя скорость за поездку составила 62 км/ч).

Таблица 3. Основные статистические параметры

Показатель	Суточный пробег, км	Время в пути, ч	Количество перевезенных пассажиров, чел.	Температура, °С	Пассажирооборот, пасс-км	Средняя скорость, км/ч	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/100 км
Математическое ожидание	35,8	2,5	13,6	10,9	526,5	16,0	38,2
Максимальное значение	202,0	12,0	29,0	29,0	1875,0	62,0	68,2
Минимальное значение	4,0	1,0	0,0	-34,0	31,0	4,0	13,1
Среднее квадратическое отклонение	18,9	1,1	4,2	14,5	311,7	11,8	10,0

В связи с этим целесообразно исходную выборку разделить на два кластера в зависимости от средней скорости движения: движение в населенном пункте; движение вне населенного пункта.

Для оценки степени влияния принятых к рассмотрению факторов на удельный расход электроэнергии рассчитаны коэффициенты корреляции по выражению:

$$r = \frac{\sum [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{[\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2]}}, \quad (1)$$

где  $X_i$  — значение фактора за  $i$ -е сутки;

$Y_i$  — значение удельного расхода электроэнергии электромобилем за  $i$ -е сутки;

$\bar{X}$  — математическое ожидание (среднее значение) фактора;

$\bar{Y}$  — математическое ожидание (среднее значение) удельного расхода электроэнергии электромобилем.

Корреляционная матрица для кластера поездок в населенном пункте приведена в табл. 4, а вне населенного пункта — в табл. 5.

Количество поездок вне населенного пункта оказалось значительно ниже, чем внутри населенного пункта. Фактор, связанный с количеством пассажиров, оказался постоянным для выборки вне населенного пункта, в связи с чем он не включен в корреляционную матрицу (табл. 5). Жирным шрифтом в табл.4 и 5 выделены значимые коэффициенты корреляции.

Таблица 4. Корреляционная матрица для кластера поездок в населенном пункте

Показатель	Суточный пробег	Время в пути	Количество перевезенных пассажиров	Температура	Пассажирооборот	Удельный расход электроэнергии	Средняя скорость
Суточный пробег	1,000	0,616	0,024	-0,329	0,806	-0,424	0,631
Время в пути	0,616	1,000	-0,087	0,140	0,386	-0,072	-0,137
Количество перевезенных пассажиров	0,024	-0,087	1,000	-0,158	0,548	-0,213	0,084
Температура	-0,329	0,140	-0,158	1,000	-0,371	0,192	-0,616
Пассажирооборот	0,806	0,386	0,548	-0,371	1,000	-0,482	0,612
Удельный расход электроэнергии	-0,424	-0,072	-0,213	0,192	-0,482	1,000	-0,443
Средняя скорость	0,631	-0,137	0,084	-0,616	0,612	-0,443	1,000

Таблица 5. Корреляционная матрица для кластера поездок в населенном пункте

Показатель	Суточный пробег	Время в пути	Температура	Пассажирооборот	Удельный расход электроэнергии	Средняя скорость
Суточный пробег	1,000	0,570	0,529	1,000	0,120	-0,022
Время в пути	0,570	1,000	0,584	0,570	0,879	-0,834
Температура	0,529	0,584	1,000	0,529	0,395	-0,356
Пассажирооборот	1,000	0,570	0,529	1,000	0,120	-0,022
Удельный расход электроэнергии	0,120	0,879	0,395	0,120	1,000	-0,989
Средняя скорость	-0,022	-0,834	-0,356	-0,022	-0,989	1,000

### Движение электробуса в населенном пункте

Полученные результаты показывают, что для кластера поездок в населенном пункте наиболее значимыми влияющими факторами является пассажирооборот и связанные с ними суточный пробег и количество перевезенных пассажиров. Наблюдается сильная отрицательная связь этих факторов с удельным расходом электроэнергии электромобилем. Увеличение пассажирооборота приводит к росту удельного расхода энергии из-за увеличения массы электробуса, что требует большего расхода энергии на разгон и торможение. Значимым фактором является средняя скорость движения (коэффициент корреляции  $-0,443$ ). Характер и степень влияния этих факторов для электромобилей схож с автотранспортом на жидком моторном топливе.

Значимым фактором также является температура воздуха, однако коэффициент корреляции является положительным ( $0,192$ ), так как на электробусе NEXT Electro в зимнее время используется жидкостный отопитель на моторном топливе. При этом в летнее время заряд аккумуляторной батареи расходуется на работу системы кондиционирования. В то же время в условиях низких температур эффективность работы аккумуляторов снижается, что приводит к увеличению расхода электроэнергии для поддержания необходимых функциональных параметров. Зависимость удельного расхода энергии от температуры воздуха ( $w$ ) имеет  $U$ -образную форму, что указывает на увеличение расхода как при низких, так и при высоких температурах.

Для дальнейшего рассмотрения принимаются следующие факторы: пассажирооборот ( $Q$ ), средняя скорость движения ( $V$ ), температура воздуха ( $t$ ).

С применением программного комплекса Statistica сформировано уравнение множественной линейной регрессии на основе принятых к рассмотрению факторов:

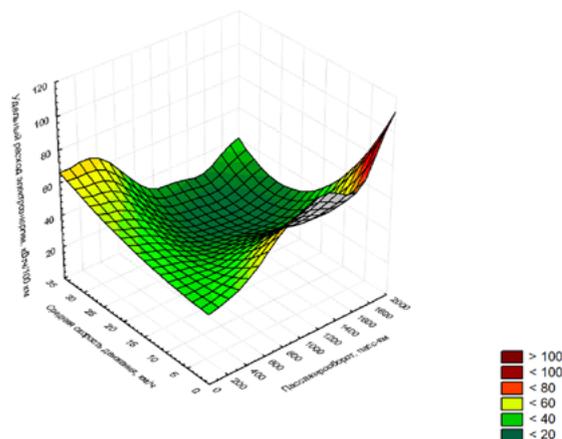


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электроэнергии электромобилем от средней скорости движения и пассажирооборота (населенный пункт)

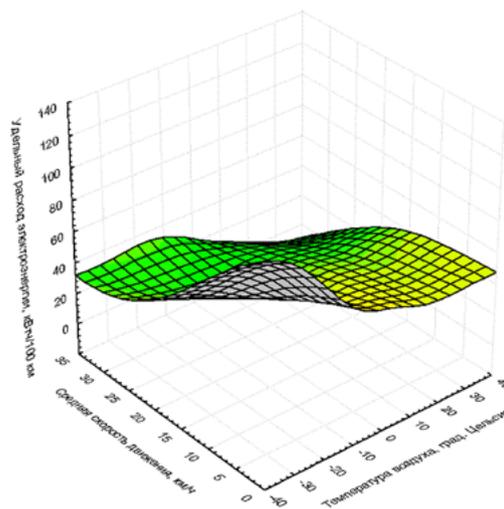


Рис. 3. Зависимость удельного расхода электроэнергии электромобилем от средней скорости движения и температуры воздуха (населенный пункт)

$$w = -0,1056t - 0,0109Q - 0,6275V + 53,95. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что качество полученного линейного уравнения регрессии является невысоким (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,277$ ), так как влияние принятых к рассмотрению факторов на удельный расход электроэнергии является существенно нелинейным (рис. 2 и 3).



торами, влияющими на энергоэффективность электромобилей, являются пассажирооборот, средняя скорость движения и температура воздуха. Однако влияние этих факторов оказывается существенно нелинейным, в связи с чем применять традиционные методы множественной линейной регрессии для нормирования энергопотребления нецелесообразно (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,277$ ).

3. Для кластера поездок вне населенного пункта наиболее значимым влияющим фактором является средняя скорость движения (коэффициент корреляции  $-0,989$ ). Данное влияние является линейным, поэтому для нормирования показателей энергоэффективности электромобилей можно использовать методы линейной регрессии (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,978$ , средняя относительная погрешность  $MAPE = 2,4\%$ ).

### Список источников

1. Вараксин Д. А. Особенности конструкции современных электромобилей / Д. А. Вараксин // Знания молодых — будущее России: сборник статей XXI Международной конференции, Киров, 5–7 апреля 2023 года. — Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2023. — С. 280–283.
2. Шайымов С. С. Рекуперация энергии в современных электромобилях / С. С. Шайымов, Б. Н. Байлиев, Н. М. Реджепов // Символ науки: международный научный журнал. — 2024. — Т. 1. — № 10-1. — С. 93–95.
3. Сафонов З. Ю. Явление рекуперации энергии в электромобилях / З. Ю. Сафонов // Российская наука в современном мире: сборник статей LXIII международной научно-практической конференции, Москва, 15 июля 2024 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2024. — С. 55–56.
4. Черников В. А. Настоящее и будущее электромобилей / В. А. Черников, А. С. Зувев, Д. П. Зимин и др. // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 8–9 июня 2021 года. Том Часть II. — Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. — С. 403–410.
5. Поспеева О. Н. Тенденции развития рынка электротранспорта / О. Н. Поспеева, Х. А. Фасхиев // Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика: сборник научных статей по материалам X Международной научно-практической конференции, Уфа, 27 декабря 2022 года. Том Часть 2. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр “Вестник науки”», 2022. — С. 136–151.
6. Фасхиев Х. А. Рынок электромобилей — рост стабилен / Х. А. Фасхиев // Маркетинг в России и за рубежом. — 2023. — № 2. — С. 92–102.
7. Comparative Analysis of Energy Consumption between Electric Vehicles and Combustion Engine Vehicles in High-Altitude Urban Traffic. — URL: <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/8/355> (дата обращения: 24.04.2024)
8. Барабошкина А. В. Экстернальные издержки от автомобильного транспорта в контексте перехода к низкоуглеродной экономике: российский опыт / А. В. Барабошкина, О. В. Кудрявцева // Вестник Московского университета. — Серия 6. Экономика. — 2023. — № 3. С. 137–156.
9. Electric vs. Gas Cars: Is It Cheaper to Drive an EV? — URL: <https://www.nrdc.org/stories/electric-vs-gas-cars-it-cheaper-drive-ev> (дата обращения: 24.04.2024).
10. Концепция управления и развития автохозяйства ОАО «РЖД», утвержденная ОАО «РЖД» 25.08.2020 № 1303.
11. Популов Я. В. Анализ нормативной базы по использованию электромобилей в России / Я. В. Популов // Экономика и общество: современные исследования и инновационное развитие: материалы всероссийской научно-практической конференции: в 3 частях, Омск, 12–13 декабря 2023 года. — Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2023. — С. 125–128.
12. Блохин А. Н. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель» / А. Н. Блохин, А. М. Грошев,

Т. А. Козлова и др. // Наука и образование. — 2012. — № 12. — С. 75–106.

Дата поступления: 17.12.2024

Решение о публикации: 31.01.2025

**Контактная информация:**

ПОПУЛОВ Ян Владимирович — аспирант;

populov\_yan@mail.ru

КОМЯКОВ Александр Анатольевич — д-р техн. наук,

проф.; tskom@mail.ru

## Analysis of Maintenance Factors Affecting the Energy Efficiency of Electric Vehicles Used In the JSC “Russian Railways” Production Activities

Ya. V. Populov, A. A. Komyakov

Omsk State Transport University, Russian Federation, 35, Marks pr., Omsk, 644046, Russian Federation

**For citation:** Populov Ya. V., Komyakov A. A. Analysis of Maintenance Factors Affecting the Energy Efficiency of Electric Vehicles Used In the JSC “Russian Railways” Production Activities // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 1, pp. 102–111. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-1-102-111

### Summary

**Purpose:** To analyze various operational factors affecting an electric vehicle power consumption based on empirical data from pilot operations. **Methods:** Parametric statistics, E-vehicle performance evaluation, and analytics expression analysis have been used. **Results:** The average per unit operation costs of electric vehicles and gasoline ones have been compared. For residential area travel, the most significant factors are passenger turnover and associated with it daily mileage and the number of passengers transported. There is a strong negative correlation between these factors and per unit energy consumption of an electric vehicle. Increased passenger volumes lead to increased per unit energy consumption due to a greater electric vehicle weight that requires more energy for acceleration and braking. **Practical significance:** The factors affecting the electric vehicle energy efficiency have contributed to the adoption of electric vehicles in JSC “Russian Railways” production activities.

**Keywords:** JSC “Russian Railways”, electric car, passenger turnover, correlation.

### References

1. Varaksin D. A. Osobennosti konstruktсии sovremennykh elektromobiley [Design Features of Modern Electric Vehicles]. *Znaniya molodykh — budushchee Rossii: sbornik statey XXI Mezhdunarodnoy konferentsii, Kirov, 5–7 aprelya 2023 goda* [Knowledge of the Young is the Future of Russia: Collection of Articles from the XXI International Conference, Kirov, April 5-7, 2023]. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet Publ., 2023, pp. 280–283. (In Russian)

2. Shayymov S. S., Bayliev B. N., Redzhepov N. M. Rekuperatsiya energii v sovremennykh elektromobilyakh [Energy Recovery in Modern Electric Vehicles]. *Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal* [Symbol of Science: International Scientific Journal]. 2024, vol. 1, Iss. 10-1, pp. 93–95. (In Russian)

3. Safonov Z. Yu. Yavlenie rekuperatsii energii v elektromobilyakh [Phenomenon of Energy Recovery in Electric Vehicles]. *Rossiyskaya nauka v sovremennom mire: sbornik statey LXIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy*

*konferentsii, Moskva, 15 iyulya 2024 goda* [Russian Science in the Modern World: Collection of Articles from the LXIII International Scientific and Practical Conference, Moscow, July 15, 2024.]. Moscow: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Aktual'nost'.RF" Publ., 2024, pp. 55–56. (In Russian)

4. Chernikov V. A., Zuev A. S., Zimin D. P. *Nastoyashchee i budushchee elektromobiley* [The Present and Future of Electric Vehicles]. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 8–9 iyunya 2021 goda. Tom Chast' II* [Energy Efficiency and Energy Saving in Modern Production and Society: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Voronezh, June 8–9, 2021. Volume Part II]. Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I Publ., 2021, pp. 403–410. (In Russian)

5. Pospieva O. N., Faskhiev Kh. A. *Tendentsii razvitiya rynka elektrotransporta* [Electric Transport Market Development Trends]. *Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki: teoriya, tekhnologiya, metodologiya i praktika: sbornik nauchnykh statey po materialam X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Ufa, 27 dekabrya 2022 goda. Tom Chast' 2* [Actual Issues of Modern Science: Theory, Technology, Methodology, and Practice: Collection of Scientific Articles Based on the Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference, Ufa, December 27, 2022. Volume Part 2]. Ufa: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu "Nauchno-izdatel'skiy tsentr "Vestnik nauki", 2022, pp. 136–151. (In Russian)

6. Faskhiev Kh. A. *Rynok elektromobiley — rost stabilen* [Electric Vehicle Market — Growth is Stable]. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and Abroad]. 2023, Iss. 2, pp. 92–102. (In Russian)

7. *Comparative Analysis of Energy Consumption between Electric Vehicles and Combustion Engine Vehicles in High-Altitude Urban Traffic*. Available at: <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/8/355> (accessed: April 24, 2025).

8. Baraboshkina A. V., Kudryavtseva O. V. *Eksternal'nye izderzhki ot avtomobil'nogo transporta v kontekste perekhoda*

*k nizkouglerodnoy ekonomike: rossiyskiy opyt* [External costs of automobile transport in the context of the transition to a low-carbon economy: Russian experience]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika* [Bulletin of Moscow University. Series 6. Economy]. 2023, Iss. 3, pp. 137–156. (In Russian)

9. *Electric vs. Gas Cars: Is It Cheaper to Drive an EV?* Available at: <https://www.nrdc.org/stories/electric-vs-gas-cars-it-cheaper-drive-ev> (accessed: April 24, 2025).

10. *Kontseptsiya upravleniya i razvitiya avtokhozyaystva OAO "RZhD", utverzhdannaya OAO "RZhD" 25.08.2020 № 1303* [The concept of management and development of the motor transport fleet of JSC Russian Railways, approved by JSC Russian Railways on August 25, 2020, № 1303]. (In Russian)

11. Populov Ya. V. *Analiz normativnoy bazy po ispol'zovaniyu elektromobiley v Rossii* [Analysis of the regulatory framework for the use of electric vehicles in Russia]. *Ekonomika i obshchestvo: sovremennye issledovaniya i innovatsionnoe razvitie: materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 3 chastyakh, Omsk, 12–13 dekabrya 2023 goda* [Economy and Society: Modern Research and Innovative Development: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: in 3 parts, Omsk, December 12–13, 2023]. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya Publ., 2023, pp. 125–128. (In Russian)

12. Blokhin A. N., Groshev A. M., Kozlova T. A. et al. *Rezul'taty issledovaniya elektromobilya na shassi "GAZel"* [Results of the study of an electric vehicle on the GAZelle chassis]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education]. 2012, Iss. 12, pp. 75–106. (In Russian)

Received: December 17, 2024

Accepted: January 31, 2025

#### Author's information:

Yan V. POPULOV — Postgraduate Student;  
[populov\\_yan@mail.ru](mailto:populov_yan@mail.ru)

Aleksandr A. KOMYAKOV — Dr. Sci. in Engineering,  
Professor; [tskom@mail.ru](mailto:tskom@mail.ru)