





Инфраструктурные аспекты развития электротранспорта в России: системные барьеры и эффекты преодоления

И. С. Белик , Т. Т. Аликберова  

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,

г. Екатеринбург, Россия

 tamila.alikberova@mail.ru

Аннотация. Достижение углеродной нейтральности в транспортном секторе России в значительной мере зависит от преодоления системного инфраструктурного барьера – дефицита и территориальной несбалансированности сети зарядных станций. В условиях обширной территории страны, низкой плотности населения, сурового климата и высокой степени изношенности автопарка формирование базовой магистральной зарядной инфраструктуры становится приоритетным условием инициации процесса декарбонизации. В статье рассматриваются проблемы развития электротранспорта, связанные с инфраструктурной сферой. На основе детерминированной модели «инфраструктура → спрос → системные эффекты», адаптированной к российским условиям, т.е. с учетом поправки на климатическую и демографическую асимметрию, через поправочный коэффициент ($\gamma = 0,75$), определено, что достижение минимального уровня доступности инфраструктуры электротранспорта в России сможет обеспечивать системные эффекты от ее развертывания. Основными из этих эффектов являются годовое сокращение выбросов CO_2 в объеме 569,5 тыс. тонн, экономия на топливе в размере 17,9 млрд руб. При этом удельные инвестиции составят 47,2 тыс. руб./т CO_2 , величина которых по сравнению с альтернативными мерами декарбонизации, подтверждает экономическую эффективность принимаемых решений. На основе географического анализа федеральных автомобильных дорог обосновано минимально необходимое количество станций быстрой зарядки – 900 единиц при шаге размещения не более 200 км. Согласно расчетам, к 2030 г. это позволит сформировать парк из 321,3 тыс. электромобилей и обеспечить надежную межрегиональную мобильность не только в Центральном федеральном округе, но и в округах с суровыми климатическими условиями, включая Урал, Сибирь и Дальний Восток. Учет климатической адаптации зарядных станций, включая системы подогрева, термостабилизации и резервного питания, является обязательным условием их функциональной надежности в регионах с продолжительными периодами низких температур. Таким образом полученные результаты свидетельствуют о технической и стратегической целесообразности предложенных решений и служат для координации государственных мер поддержки, инвестиционной политики и инфраструктурного развития.

Ключевые слова: декарбонизация транспорта; зарядная инфраструктура; электромобильность; станции быстрой зарядки; инфраструктурные барьеры; энергетический переход; эколого-экономическая эффективность.

1. Введение

Стремление к достижению углеродной нейтральности стало одной из ключевых целей глобальной климатической политики, закрепленной в Парижском соглашении 2015 г. и подтвержденной на последующих конференциях ООН по изменению климата. Центральную роль в этом процессе играет автотранспортный сектор, на который приходится около 75 % всех выбросов транспорта и 18 % глобальных выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива¹.

В России ситуация с автотранспортом складывается следующим образом: на его долю приходится более 80 % пассажирских и около 60 % грузовых автомобильных перевозок². При этом выбросы CO₂ от дорожного транспорта составляют около 13 % от совокупных национальных выбросов, и эта доля продолжает расти на фоне старения автопарка и низкой доли альтернативных видов топлива³.

Переход к низкоуглеродной автотранспортной системе в России сталкивается с серьезными вызовами, обусловленными огромной территорией (17,1 млн км), низкой плотностью населения (8,53 чел./км), климатическими условиями и высокой зависимостью от импортных технологий. Главным системным барьером выступают инфраструктурные ограничения, где особенно выделяется отсутствие развитой сети зарядных станций для электромобилей. По данным Минэнерго РФ⁴, в стране насчитывается около 4 500 общественных зарядных точек, из которых свыше 70 % сосредоточены в Центральном федеральном округе. Это создает острый дисбаланс и делает массовое внедрение электромобилей экономически и логистически недостижимым в большинстве регионов.

В отличие от небольших европейских стран, где электромобили могут использоваться как в городских, так и междугородних поездках, в России требуется развитая магистральная и межрегиональная зарядная инфраструктура, способная обеспечить бесперебойные поездки на тысячи километров через зоны с низкой плотностью населения и суровыми климатическими условиями. Реализации этой задачи мешают системные барьеры, усугубляемые территориальной спецификой и экономической ситуацией:

1. *Энергетическая недоступность*: более 40 % населенных пунктов с численностью до 10 тыс. человек не имеют технической возможности

¹ Energy Technology Perspectives 2023 — Transport. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>

² Транспорт в Российской Федерации : стат. сб. 2023 // Росстат. М., 2023. URL: https://rosstat.gov.ru/free_doc/new_site/transport/doc/2023/trans_2023.pdf

³ Третий двухлетний обновленный доклад Российской Федерации о выбросах парниковых газов в соответствии с обязательствами по РКИК ООН // Минприроды России. М., 2023. 347 с. URL: <https://mnr.gov.ru/upload/medialibrary/9a8/bur-3.pdf>

⁴ ПМЭФ-2024: развитие электрочарядной инфраструктуры. М., 2024. URL: <https://minenergo.gov.ru/press-centr/news/elektromobility-pmef-2024>

подключения к сетям мощностью свыше 50 кВт·ч, что делает установку станций быстрой зарядки (150–350 кВт) технически невозможной без дорогостоящей реконструкции распределительных сетей.

2. *Низкая обновляемость автопарка*: средний возраст легкового автопарка в России составляет 14,5 лет¹, а доля новых электромобилей в общих продажах не превышает 0,3 %. Это свидетельствует о крайне низкой готовности потребителей к переходу на электромобили даже при наличии инфраструктуры.

3. *Отсутствие целостной национальной стратегии*: несмотря на «Транспортную стратегию РФ до 2030 года», до сих пор не утверждены единые технические стандарты, целевые показатели развертывания, механизмы государственной поддержки и ответственные исполнители, что ведет к фрагментации усилий и неэффективному использованию ресурсов.

4. *Суровые климатические условия*: при температурах ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ емкость литий-ионных аккумуляторов снижается на 30–40 %, а время зарядки увеличивается в 1,5–2 раза². Это требует не просто большей плотности станций, но и их специальной адаптации — с системами подогрева, термостабилизации и резервным питанием.

Настоящее исследование направлено на количественную оценку минимально необходимого уровня доступности зарядной инфраструктуры на федеральных автомобильных дорогах России, обеспечивающего базовую межрегиональную мобильность электромобилей с учетом сурового климата, низкой плотности населения и изношенности автопарка. Особое внимание уделяется оценке системных эффектов — экологических, экономических и энергетических, — достижимых к 2030 г. в результате развертывания такой инфраструктуры, а также сопоставительной оценке ее экономической эффективности с альтернативными мерами декарбонизации транспортного сектора.

Направление исследования соответствует положениям «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»³ (ред. от 06.11.2024 г.), ориентирам государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы»⁴ (ред. от 06.04.2025 г.). Данные документы акцентируют необходимость структурной трансформации транспортного сектора в целях повышения его

¹ Средний возраст легкового автопарка в России достиг 14,5 лет // Автостат : аналит. агентство. М., 2024. URL: <https://www.autostat.ru/news/43978/>

² Особенности эксплуатации электромобилей в условиях холодного климата // ФГУП «НАМИ». М., 2023. URL: <https://nami.ru/publications/elektromobili-v-holodnom-klimat>

³ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (в ред. от 06.11.2024). М. : Минтранс России, 2024. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/transport-strategy-2030-2035-rev2024>

⁴ Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы» (в редакции Постановления Правительства РФ от 06.04.2025 № 582). М., 2025. URL: <https://government.ru/docs/582-2025>

устойчивости и энергоэффективности, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду, в том числе посредством поэтапной декарбонизации автотранспортной отрасли.

Зарубежные эксперты акцентируют внимание на наличии устойчивой положительной взаимосвязи между плотностью зарядной инфраструктуры и уровнем внедрения электромобилей. Как показывают исследования Hardman et al. [1], доступность станций быстрой зарядки, особенно вдоль междугородних маршрутов, является одним из ключевых факторов, определяющих готовность потребителей к переходу на электротранспорт.

В статье в развитии этой идеи на этапе эмпирического исследования проводится количественное моделирование сценария развертывания национальной сети зарядных станций на федеральных трассах, оцениваются экологические, энергетические и экономические эффекты, формируются прогнозные модели, описывающие как благоприятное влияние развитой инфраструктуры на динамику внедрения электромобилей и снижение выбросов CO₂, так и последствия сохранения существующих инфраструктурных ограничений для достижения целей углеродной нейтральности в транспортной отрасли.

Результаты, полученные в ходе исследования, подтверждают, что доступность и географическая равномерность размещения зарядных станций выступают ключевыми детерминантами принятия электромобильности конечными потребителями и зачастую превосходят по значимости финансовые стимулы или ценовые факторы. То же отмечается в работе Chunlin et al. [2]. Авторы на основе моделирования транспортных потоков в Китае показывают, что даже при высоком уровне внедрения электромобилей отсутствие зарядной инфраструктуры в периферийных регионах создает «инфраструктурные тупики», снижающие экологическую эффективность.

Проведенный авторами конъюнктурный анализ выявил, что наличие надежной зарядной сети оказывает более сильное влияние на решение о покупке электромобиля, чем финансовые стимулы. Это подчеркивает приоритет развития инфраструктуры перед мерами ценовой поддержки при формировании политики декарбонизации транспорта.

Подобные выводы содержатся и в исследовании Gnann et al. [3], из которого следует, что без создания высокомоощных зарядных коридоров (350–400 кВт) вдоль трансъевропейских маршрутов декарбонизация автотранспорта к 2035 г. невозможна. Авторы отмечают, что текущая плотность станций в ЕС обеспечивает лишь 40 % необходимого покрытия для коммерческих перевозок.

Целью исследования является обоснование минимального уровня доступности инфраструктуры электротранспорта в России и эффектов от ее развертывания. Создание национальной сети зарядных станций на федеральных автомобильных дорогах, направленной на обеспечение базовой межрегиональной мобильности электромобилей служит средством достижения целей по снижению выбросов парниковых газов к 2030 г.

В рамках настоящего исследования были поставлены следующие *задачи*:

1. Провести анализ текущего состояния зарядной инфраструктуры для электромобилей в Российской Федерации и выявить ключевые системные барьеры, сдерживающие ее развитие.

2. Количественно оценить экологические (сокращение выбросов парниковых газов), энергетические (нагрузка на электросети) и экономические (экономия потребителей, эффективность инвестиций) эффекты развертывания инфраструктуры.

3. Разработать комплекс организационно-экономических мер, направленных на обеспечение устойчивого и скоординированного развертывания зарядной сети, на преодоление институциональных и рыночных барьеров, стимулирование потребительского спроса на электромобили.

Гипотеза исследования заключается в том, что формирование к 2030 г. национальной сети из 900 станций быстрой зарядки на федеральных трассах РФ представляет собой технически реализуемое и экономически эффективное решение, способное преодолеть существующий инфраструктурный барьер и обеспечить условия для запуска начального этапа системной декарбонизации автотранспортного сектора в условиях обширной территории, низкой плотности населения и сурового климата.

Структура исследования базируется на теоретическом анализе существующих подходов к декарбонизации транспортного сектора, с акцентом на роль зарядной инфраструктуры как ключевого средообразующего фактора для развития электромобильности в условиях обширной территории и сурового климата. На основе обзора выделяется группа наиболее значимых инфраструктурных, организационных и климатических компонентов, предположительно определяющих возможность формирования устойчивой низкоуглеродной транспортной среды в России.

2. Обзор литературы

2.1. Инфраструктурные барьеры как ключевой детерминант принятия электромобилей

В последние годы проблема инфраструктурных ограничений как ключевого барьера на пути к углеродной нейтральности в автотранспортной отрасли получила значительное развитие как в международной, так и в отечественной научной литературе. Особое внимание уделяется не только количественному дефициту зарядных станций, но и их географической неравномерности, технической несовместимости, энергетической недоступности. Эмпирические подтверждения этой позиции представлены в работе Wang et al. [4], где на основе моделирования транспортных потоков в Центральной Европе показано, что плотность зарядных станций мощностью свыше 150 кВт напрямую определяет экономическую жизнеспособность электротранспорта на расстояниях более 300 км. Авторы приходят

к выводу, что инфраструктурный дефицит в настоящее время является более значимым барьером, чем стоимость самих транспортных средств.

В докладе IEA «Global EV Outlook»¹ подчеркивается, что соотношение «1 станция на 10–15 электромобилей» является критическим порогом для формирования устойчивого рынка. В большинстве стран с развивающейся экономикой это соотношение превышает 1:50, что делает электромобильность привилегией только крупных городов.

Эмпирические исследования также подтверждают связь между развитием инфраструктуры и снижением выбросов. Так, Awaworyi Churchill et al. [5] в анализе данных по странам ОЭСР выявили обратную зависимость между качеством транспортной инфраструктуры и уровнем CO₂ на душу населения, что подчеркивает двойственную роль инфраструктуры: с одной стороны, как источника выбросов при строительстве, с другой — как инструмента их снижения в долгосрочной перспективе.

Дежина и Раднабазарова [6], анализируя механизмы стимулирования спроса на электромобили на мировом и российском уровнях, отмечают, что эффективность нефинансовых мер стимулирования спроса на электромобили (льготная парковка, выделенные полосы) в России ограничена инфраструктурными барьерами (недостаток зарядных станций), и это усиливает технологическую настороженность потребителей.

Rezvani et al. [7] пришли к выводу, что даже при высокой доле возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в генерации отсутствие надежной зарядной инфраструктуры снижает готовность потребителей к покупке электромобилей на 35–50 %. Эмпирические данные авторов подтверждают, что доступность станций быстрой зарядки является доминирующим фактором при выборе электромобилей в Европе.

Unterluggauer et al. [8] показывают, что оптимальное размещение коридоров с учетом «тревоги запаса хода» повышает эффективность инвестиций на 20–30 %. A Sovacool et al. [9] подчеркивают, что инфраструктурные барьеры особенно остры в странах с обширной территорией и низкой плотностью населения.

2.2. Вызовы территориальной и климатической асимметрии

В аналитических материалах Международного транспортного форума (ITF) подчеркивается, что инфраструктурные меры, включая развертывание зарядных и водородных станций, модернизацию дорожных узлов и цифровизацию логистических коридоров, должны быть интегрированы в регуляторную политику как обязательный элемент стратегий по снижению выбросов. Как отмечается в докладе ITF «Overcoming Barriers to

¹ International Energy Agency (IEA). Global EV Outlook 2024. Paris : IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

Zero-Emission Freight»¹, даже при наличии технологически совершенных электромобилей их массовое внедрение невозможно без предварительного формирования «инфраструктурного коридора доверия» вдоль ключевых транспортных маршрутов.

В странах с развивающейся экономикой также наблюдается рост интереса к инфраструктурным аспектам декарбонизации. Например, Calatayud et al. [10] анализируют стратегии Латинской Америки и Карибского бассейна, где ключевыми вызовами выступают недостаток инвестиций, фрагментация транспортных систем и отсутствие координации между государством и частным сектором.

В Африке, как показывают Gicha et al. [11], главным препятствием является низкая энергетическая доступность, что делает развертывание зарядной инфраструктуры экономически невыгодным без международной поддержки.

Zhao et al. [12] анализируют опыт Шэньчжэня и демонстрируют, что масштабное инфраструктурное планирование при сильной государственной координации способно обеспечить быстрый переход к низкоуглеродному транспорту даже в мегаполисах с высокой нагрузкой на транспортную систему.

Yang et al. [13] разработали метод асимметричного температурного модулирования (АТМ), обеспечивающий быструю зарядку литий-ионных аккумуляторов при экстремально низких температурах (до -50 °С) за счет предварительного кратковременного нагрева элемента до $45-60$ °С. Результаты исследования указывают на потенциал АТМ для преодоления климатических ограничений, сдерживающих распространение электромобилей в регионах с холодным климатом, и подчеркивают связь между терморегуляцией аккумуляторов и развитием зарядной инфраструктуры.

Bohnsack et al. [14] обобщают опыт развивающихся стран и приходят к выводу, что территориальная неоднородность требует дифференцированных подходов к развертыванию инфраструктуры. Babu et al. [15] подчеркивают, что без учета климатических условий эффективность электромобилей в зимний период может падать на $40-60$ %.

Исследование Терентьева и Блянкинштейна [16], посвященное выбору аккумуляторов для холодного климата, выявляет прямую взаимосвязь между электрохимическими характеристиками батарей и инфраструктурными ограничениями электротранспорта. Авторы пришли к выводу, что даже при использовании устойчивых к низким температурам ЛТО-аккумуляторов (потеря емкости 28 % при -20 °С) их низкая удельная энергоемкость требует увеличения числа зарядных станций и частоты подзарядки в удаленных регионах, усиливая инфраструктурную нагрузку. Результаты работы подчеркивают необходимость синхронного развития аккумуляторных технологий и адаптации зарядной инфраструктуры (включая системы предварительного

¹ Overcoming Barriers to Zero-Emission Freight // International Transport Forum (ITF). Paris : OECD Publishing, 2024. URL: <https://www.itf-oecd.org/overcoming-barriers-zero-emission-freight>

подогрева и резервирования мощности) для преодоления климатически обусловленных барьеров, таких как сокращение пробега и увеличение времени зарядки в холодных условиях.

2.3. Институциональные и координационные аспекты развития инфраструктуры

Институциональный аспект инфраструктурного барьера подробно рассмотрен Ugwu & Adewusi [17]. Авторы анализируют 15 национальных стратегий электромобильности и приходят к выводу, что успех зависит не от объема субсидий, а от наличия единого координационного органа, утвержденных технических стандартов и четких целевых показателей по инфраструктуре. В странах, где эти элементы отсутствуют (включая Россию), наблюдается «инфраструктурная ловушка» — низкий спрос сдерживает инвестиции, а дефицит инфраструктуры — спрос.

Geels et al. [18] развивают теорию многоуровневых переходов и показывают, что без согласованной институциональной поддержки технологические инновации не масштабируются. Kivimaa & Kern [19] подчеркивают, что эффективность политики зависит от согласованности мер (policy mix coherence).

Caulfield [20] показывает, что институциональная координация между государственными органами, бизнесом и муниципалитетами является критическим фактором преодоления инфраструктурных барьеров электромобильности в ЕС. Автор подчеркивает роль наднациональных регуляторных механизмов (директивы по CO₂, обязательства по размещению зарядных станций) в стимулировании синхронного развития инфраструктуры и рынка, однако отмечают разрывы в координации на региональном уровне, где недостаточная стандартизация зарядных систем и фрагментарное планирование сетей сдерживают масштабирование электротранспорта. Результаты исследования указывают на необходимость создания межсекторных институциональных платформ для интеграции энергетических, транспортных и городских стратегий, что особенно актуально в условиях климатических ограничений и дефицита ресурсов для аккумуляторов.

Каталевский и Гареев [21] разрабатывают системно-динамическую модель на платформе AnyLogic для прогнозирования регионального развития электротранспорта, акцентируя внимание на взаимосвязи между ростом парка электромобилей и развитием зарядной инфраструктуры. Апробация модели на данных Калининградской области выявила пороговые значения субсидий и плотности зарядных станций, необходимые для запуска самоподдерживающегося спроса: минимальный уровень государственных субсидий в 25 % от стоимости автомобиля и соотношение 1 зарядная станция на 10 электромобилей. Авторы подчеркивают, что отсутствие координации между планированием инфраструктуры и стимулированием спроса приводит

к неэффективному распределению ресурсов, а их модель позволяет оптимизировать институциональные решения в условиях дефицита статистических данных.

Shafiei et al. [22] подчеркивают важную роль государственного стимулирования в содействии распространению электромобилей. Авторы анализируют влияние различных налоговых и неналоговых инструментов государственной политики на динамику внедрения электромобилей в среднесрочной (до 2030 г.) и долгосрочной (до 2050 г.) перспективе на примере Исландии. Результаты показывают, что комплексные меры государственного стимулирования оказывают существенное влияние на динамику проникновения электромобильности и достижение национальных климатических целей.

Dhokal & Min [23] проводят прогноз глобального спроса на электромобили до 2030 г. и анализируют обратную связь между численностью потенциальных пользователей электромобильного транспорта и динамикой развертывания зарядной инфраструктуры. В основе их исследования лежит методологический аппарат эконометрического моделирования, адаптированный для описания процессов диффузии технологических инноваций, включая модели, основанные на теории принятия инноваций (diffusion of innovations theory).

2.4. Оценка климатической и экономической эффективности

В российском научном поле данная тематика активно развивается с начала 2020-х гг. Аликберова и др. [24] предложили два сценария развития автомобильного транспорта: инновационный и сценарий декарбонизации. Авторы показывают, что при реализации последнего к 2055 г. возможен полный переход к низкоуглеродной модели за счет замещения двигателей внутреннего сгорания (ДВС) электроприводом. При этом подчеркивается, что ключевым условием реализации сценария является развитие зарядной инфраструктуры и модернизация энергосистемы.

Аналогичные выводы содержатся в работе Колесниковой [25], где выявлены основные барьеры развития электротранспорта в России: высокая стоимость электромобилей, отсутствие развитой сети зарядных станций, недостаточная проработанность вопросов утилизации и производства тяговых аккумуляторов. Автор предлагает комплекс мер, включающий инфраструктурное развитие, поддержку производственных цепочек и снижение стоимости владения электромобилем.

Ростовский [26] рассматривают зарядную инфраструктуру не только как техническую систему, но и как фактор обеспечения транспортной доступности в условиях энергетического перехода. Авторы подчеркивают, что без системного планирования сети зарядных станций (с учетом плотности населения, интенсивности транспортных потоков и климатических условий) электромобильность остается локальным феноменом крупных городов.

Результаты исследования подчеркивают, что преодоление указанных барьеров через координацию государства, бизнеса и научного сообщества позволит не только снизить экологическую нагрузку, но и повысить конкурентоспособность отечественной логистики за счет оптимизации городских грузоперевозок и внедрения электробусных маршрутов.

Трофименко и др. [27] акцентируют внимание на институциональных и регуляторных аспектах декарбонизации, рассматривая инфраструктурные ограничения как часть более широкого комплекса системных барьеров, при этом подчеркивает необходимость интеграции углеродного регулирования с развитием промышленности, энергетики и устойчивой мобильности.

В докладе World Energy Transitions Outlook¹ приведен обобщенный вывод, что инфраструктура является «узким» местом в переходе к низкоуглеродному транспорту.

Gillingham & Stock [28] при оценке стоимости сокращения тонны CO₂ показывают, что инфраструктурные меры в транспорте дешевле, чем в промышленности.

По оценкам IEA², для достижения целей углеродной нейтральности к 2030 г. ежегодные инвестиции в зарядную инфраструктуру должны превышать 60 млрд долл., что в совокупности составит около 400 млрд долл. за период. Эти инвестиции являются частью более широкого пакета мер по электрификации транспорта, общим объемом более 1,2 трлн долл.

По оценкам Института энергетики и финансов³, удельные затраты на сокращение одной тонны CO₂ в секторе транспорта при внедрении технологий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и электромобильности составляют от 50–100 тыс. руб., что делает эти меры конкурентоспособными при условии системной поддержки инфраструктурных проектов.

2.5. Российский контекст: от «московского феномена» к национальной стратегии

В контексте городского транспорта значимый вклад внесли Кудрявцева и др. [29], оценившие влияние электробусов на качество воздуха в Москве. Несмотря на положительные экологические эффекты, авторы указывают на недостаток системных данных и раннюю стадию реализации проектов, что подтверждает необходимость масштабирования инфраструктурных решений на национальном уровне.

¹ World Energy Transitions Outlook 2024: Scaling Up Renewables to Achieve Net Zero // IRENA. Abu Dhabi, 2024. URL: <https://www.irena.org/Publications/2024/Jul/World-Energy-Transitions-Outlook-2024>

² Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach — 2024 Update // International Energy Agency (IEA). Paris : IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-c-goal-in-reach-2024-update>

³ Сценарные оценки экономических последствий декарбонизации российской экономики // ИЭФ. М., 2023. URL: <https://iefenergy.ru/research/decarbonization-scenarios-2023>

Беляев и Генсон [30] подчеркивают, что без создания «зарядных коридоров» вдоль федеральных трасс и в опорных центрах Сибири и Дальнего Востока переход на электромобильность в России останется «московским феноменом». Авторы акцентируют внимание на территориальной асимметрии и необходимости государственной координации как условия преодоления рыночного провала.

В Российской Федерации нормативно-правовое обеспечение развития инфраструктуры электромобильности в последние годы существенно укрепилось. В ключевом документе «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»⁷ зафиксированы целевые показатели: достижение 10 % доли электромобилей в общем объеме автопроизводства к 2030 г. и локализация производства ключевых компонентов, включая тяговые аккумуляторы. Транспортная стратегия интегрирована в систему стратегического планирования и легла в основу последующих нормативных актов.

Предметный подход реализован в государственной программе «Развитие транспортной системы»⁸, где прямо обозначена задача формирования условий для внедрения низкоуглеродных транспортных технологий.

Несмотря на определенный прогресс в нормативно-правовом обеспечении, практическое преодоление инфраструктурных барьеров, препятствующих достижению углеродной нейтральности в транспортной отрасли, по-прежнему сдерживается отсутствием утвержденных дорожных карт развертывания зарядной сети, четкого распределения ответственности между профильными ведомствами и долгосрочных механизмов финансирования. Это сохраняет фрагментацию усилий, замедляет формирование целостной национальной инфраструктурной экосистемы и, как следствие, ограничивает эффективность государственной политики в области декарбонизации автотранспорта.

Ророва & Kolmar [31] подчеркивает, что медленный переход на электромобильный транспорт в России связан с климатическими особенностями, неразвитостью институциональной и технологической инфраструктуры, а также производством ключевых комплектующих электротранспорта — аккумуляторных батарей.

Харитончик и др. [32] отмечают, что ускорение внедрения электромобильности в России зависит от ряда ключевых условий. В первую очередь, развитие зарядной инфраструктуры должно опережать рост числа электромобилей, обеспечивая достаточный уровень доступности и снижать «тревогу запаса хода». Авторы подчеркивают, что именно государственная политика выступает катализатором технологического перехода, а потому перечисленные меры должны быть системно интегрированы в национальную стратегию развития альтернативного автотранспорта для достижения заявленных климатических и транспортных целей.

Nefedova et al. [33] отмечают, что низкие темпы развития рынка электромобилей в РФ обусловлены совокупностью структурных ограничений: высокой стоимостью электромобилей по сравнению с транспортными средствами с двигателями внутреннего сгорания, недостаточным уровнем развития сервисной и зарядной инфраструктуры, а также ограниченным модельным рядом, доступным на российском рынке. Авторы приходят к выводу, что в текущих условиях перспективы масштабного внедрения электромобильности в России остаются ограниченными по сравнению с альтернативными низкоуглеродными решениями, в частности с использованием природного газа в качестве моторного топлива.

Семчишина [34] выявляет системные барьеры развития зарядной инфраструктуры в России, включая неравномерное географическое распределение станций (концентрация в мегаполисах), низкую загрузку (4,5–6 %), высокие затраты на технологическое присоединение и отставание в стандартизации. Автор обосновывает необходимость перехода от точечных решений к системной стратегии, сочетающей государственную поддержку, цифровизацию и интеграцию инноваций для преодоления экономических и технологических ограничений.

Мусаева и др. [35] оценивают эффективность государственных мер поддержки (субсидии на установку станций, льготное технологическое присоединение) в развитии зарядной инфраструктуры РФ, выявляя положительную корреляцию между объемом господдержки и ростом числа станций в пилотных регионах. Однако авторы констатируют дисбаланс в распределении ресурсов: 78 % субсидий концентрируется в трех федеральных округах, тогда как на междугородних трассах и в удаленных регионах развитие зарядной инфраструктуры остается недостаточным из-за высоких капитальных затрат и отсутствия механизмов частно-государственного партнерства. Исследование подчеркивает необходимость перехода от точечного субсидирования к системной стратегии, включающей стандартизацию технических требований, цифровизацию управления нагрузкой (Smart Charging) и стимулирование локализации производства оборудования для зарядной инфраструктуры.

Виленская [36] анализирует региональные барьеры развития зарядной инфраструктуры для электромобилей в Калининградской области, выделяя географическую изоляцию региона, дефицит высокомошных подключений к электросетям и низкую плотность станций (менее 5 % от общероссийского уровня) как ключевые ограничения. Исследование предлагает адаптировать опыт соседних стран ЕС (Германии, Польши) через создание пилотных коридоров с унифицированными протоколами зарядки и стимулирование локализации обслуживания станций, что позволит использовать транзитный потенциал для ускорения электрификации транспорта.

Шаркова и др. [37] моделируют три сценария развития электромобильности в РФ до 2035 г., выявляя, что достижение оптимистичного варианта (1,2 млн электромобилей и 36 тыс. зарядных станций) требует радикального

усиления координации государственной политики, частных инвестиций и технологического импортозамещения. Авторы подчеркивают, что без системных мер, включая стандартизацию протоколов зарядки, субсидирование локализации производства и создание межрегиональных коридоров, реализация даже умеренного сценария (450 тыс. электромобилей) будет затруднена.

Рассмотренные исследования дают некоторое представление о возможных технологических, экономических и институциональных проблемах, а также перспективах развития рынка электромобильности в условиях обширной территории и сурового климата. В совокупности они подтверждают, что ключевым условием успешной декарбонизации транспортного сектора выступает не столько снижение стоимости самих транспортных средств, сколько формирование надежной, географически сбалансированной и климатически адаптированной зарядной инфраструктуры.

Однако в существующей научной литературе отсутствуют количественные оценки системных эффектов от развертывания национальной сети станций быстрой зарядки в российском контексте, учитывающие территориальную неоднородность, климатические корректировки и реальные параметры изношенного автопарка. Именно этот пробел частично и восполняет настоящее исследование, определяя параметры инфраструктуры, способствующие инициации перехода к низкоуглеродной мобильности на всей территории России.

3. Данные и методы

3.1. Источники данных и расчетные параметры

Расчетная модель базируется на следующих ключевых допущениях, согласованных с существующей международной (IEA, 2023; IPCC, 2023) и российской практикой оценки транспортных и климатических эффектов: данными Национального доклада по парниковым газам (Минприроды РФ, 2024), статистикой Росстата (2023), аналитикой Минэнерго РФ (2023), исследованиями НАМИ (2023) и рыночными оценками агентства «Автостат» (2024). Все расчеты выполнены на прогнозном горизонте 2023–2030 гг., что соответствует целям «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года». В расчетах приняты следующие ключевые параметры и допущения (табл. 1):

- 1) средний годовой пробег легкового электромобиля — 15 000 км;
- 2) удельное энергопотребление — 18 кВт·ч на 100 км;
- 3) расход топлива автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, принимаемого в качестве аналога, — 8 л на 100 км;
- 4) средняя цена бензина на период 2024–2030 гг. принята равной 60 руб./л в постоянных ценах;
- 5) коэффициент эмиссии CO_2 при сжигании бензина — 2,31 кг CO_2 /л;
- 6) средняя стоимость станции быстрой зарядки мощностью 150–350 кВт с учетом обязательной климатической адаптации (системы подогрева, термостабилизации и резервного питания) — 29,9 млн руб.

Таблица 1. **Ключевые параметры модели и источники их обоснования**
 Table 1. **Key model parameters and sources of their justification**

Параметр	Значение	Обоснование и источник
Средний годовой пробег легкового электромобиля	15 000 км	Средний пробег личного автотранспорта в РФ («Автостат», 2024)
Удельное энергопотребление ЭМ	18 кВт·ч/100 км	Характеристики массовых моделей: Tesla Model 3, BYD Dolphin (IEA, 2023)
Средний расход топлива ДВС-аналога	8 л/100 км	Средневзвешенное значение по автопарку РФ (средний возраст — 14,5 лет); Росстат (2023), «Автостат» (2024)
Цена бензина (2024–2030 гг., в постоянных ценах)	60 руб./л	Рыночный уровень на начало 2024 г.; Минэнерго РФ (2023)
Коэффициент эмиссии CO ₂ для бензина	2,31 кг CO ₂ /л	Национальный доклад по парниковым газам (Минприроды РФ, 2024); IPCC (2023)
Стоимость станции быстрой зарядки (150–350 кВт) с климатической адаптацией	29,9 млн руб.	Расчеты ПАО «Россети» и Минэнерго РФ (2023–2024)

Источник: составлено авторами.

Эти параметры отражают как технические характеристики современных электромобилей и инфраструктуры, так и специфику российских условий эксплуатации, включая суровый климат, обширную территорию и высокую степень износа автопарка.

3.2. Методический подход

Для количественной оценки эффектов от развертывания национальной сети станций быстрой зарядки (СБЗ) применена детерминированная модель «инфраструктура → спрос → системные эффекты». Центральным элементом модели является гипотеза о положительной эластичности спроса на электромобили по доступности зарядной инфраструктуры. Эта гипотеза подтверждается как международными эмпирическими исследованиями [1, 2, 4], так и отечественными эмпирическими данными.

Инфраструктурный блок учитывает географические и климатические ограничения, специфичные для России, а также формирует технически обоснованную базу для развертывания сети станций быстрой зарядки (СБЗ).

По состоянию на конец 2023 г. в Центральном федеральном округе (ЦФО) — регионе с наиболее развитой инфраструктурой и наибольшей концентрацией электромобилей в РФ — было зарегистрировано 18 станций быстрой зарядки и 8 575 электромобилей (Минэнерго РФ, 2023; «Автостат», 2024). На основе этих данных рассчитан коэффициент привязки:

$$\beta = \frac{N_{\text{ЭМ}}}{N_{\text{СБЗ}}} = \frac{8575}{18} = 476 \text{ ЭМ на 1 СБЗ}, \quad (1)$$

где $N_{\text{ЭМ}}$ — количество электромобилей, зарегистрированных на конец года в Центральном федеральном округе; $N_{\text{СБЗ}}$ — количество станций быстрой зарядки, зарегистрированных на конец года.

Коэффициент привязки отражает реальное соотношение между инфраструктурой и спросом в условиях наиболее благоприятного для электромобильности региона России и используется в расчетах как базовое значение. Однако, как ранее отмечалось, Россия отличается значительным разнообразием климатических поясов и регионов, и прямое проецирование этого соотношения на всю ее территорию дает чрезмерно высокие прогнозные оценки.

Преимущество Центрального федерального округа перед другими регионами заключается в высокой плотности населения, развитой энергетической инфраструктуре и умеренным климатом, в то время как в Сибири, на Дальнем Востоке и частично на Урале, наблюдается сочетание низкой плотности населения, суровых зим (снижение емкости аккумуляторных батарей на 30–40 % при -20 °С), ограниченной доступности сетей 10 кВт и более низкого уровня доходов.

Для корректировки базового коэффициента привязки β , полученного на основе данных Центрального федерального округа, был введен территориально-климатический поправочный коэффициент γ . Необходимость его введения обусловлена различиями между Центральным округом и остальными регионами России по ключевым параметрам, влияющим на спрос на электромобили и интенсивность использования зарядной инфраструктуры.

Блок формирования спроса, в свою очередь, транслирует эту инфраструктурную базу в прогнозируемый парк электромобилей, используя эмпирически выявленную функцию спроса, скорректированную на территориальную неоднородность страны.

Для количественной оценки этих различий авторами был проведен сравнительный анализ потенциального спроса на электромобили в вышеупомянутых федеральных округах России. На основе данных Минэнерго РФ (2023), прогнозных моделей НАМИ (2023) и экспертных оценок региональных транспортных ведомств была рассчитана относительная эффективность использования одной станции быстрой зарядки (СБЗ) в каждом из регионов по сравнению с Центральным округом: в Северо-Западном и Приволжском федеральных округах — 80–85 %; в Уральском федеральном округе — около 75 %; в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах — 65–70 %.

С учетом доли населения и протяженности федеральных трасс в каждом федеральном округе, средневзвешенное значение эффективности по стране (за вычетом ЦФО) оказалось в диапазоне 70–80 % от уровня Центрального федерального округа.

Значение коэффициента $\gamma = 0,75$ было выбрано как консервативная средняя оценка, обеспечивающая баланс между тремя ключевыми методическими требованиями:

- 1) *учет структурных ограничений* в удаленных регионах (низкая плотность населения, суровый климат, энергетическая недоступность);
- 2) *избежание «избыточного пессимизма»*, который мог бы недооценивать потенциал роста спроса на электромобили под влиянием государственных мер поддержки, технологического прогресса и снижения стоимости владения;
- 3) *соответствие принципу «осторожного оптимизма»*, рекомендованному в международной практике оценки климатических проектов (IEA, 2024).

Таким образом, коэффициент γ на уровне 0,75 позволяет адаптировать эмпирически наблюдаемое соотношение «инфраструктура — спрос» в Центральном федеральном округе к национальным условиям и обеспечивает методическую строгость и практическую применимость модели на всей территории Российской Федерации.

В этом случае прогнозируемое количество электромобилей к 2030 г. при развертывании 900 СБЗ можно рассчитать по формуле:

$$N_{ЭМ}^{2030} = \beta \cdot \gamma \cdot N_{СБЗ}^{2030} = 476 \cdot 0,75 \cdot 900 = 321,3 \text{ тыс. шт.}, \quad (2)$$

где β — коэффициент привязки; γ — поправочный коэффициент; $N_{СБЗ}^{2030}$ — количество станций быстрой зарядки, определенное на основе географического анализа протяженности федеральных автомобильных дорог (54 700 км) и требования обеспечения максимального шага размещения не более 200 км.

Блок системных эффектов применяет общепринятый в экономике метод замещения (avoided emissions approach) для оценки экологических, энергетических и экономических последствий, что соответствует методологическим стандартам IPCC (2023) и IEA (2024).

Таким образом *экологический эффект* оценивается как годовое сокращение выбросов CO_2 :

$$\Delta E_{\text{CO}_2} = N_{ЭМ} \cdot L \cdot \left(R_{\text{ДВС}} \cdot \frac{EF_{\text{бензин}}}{100} - e_{ЭМ} \cdot \frac{CI_{эл}}{100} \right), \quad (3)$$

где $N_{ЭМ}$ — прогнозное количество электромобилей, шт.; L — средний годовой пробег одного транспортного средства, км; $R_{\text{ДВС}}$ — удельный расход топлива автомобиля с ДВС, л/100 км; $EF_{\text{бензин}}$ — коэффициент эмиссии CO_2 при сжигании бензина, кг CO_2 /л; $e_{ЭМ}$ — удельное энергопотребление электромобиля, кВт·ч/100 км; $CI_{эл}$ — углеродная интенсивность электроэнергии, кг CO_2 /кВт·ч, что в численном выражении составит (для базового варианта при $N_{ЭМ} = 321,3$ тыс. шт.):

$$\Delta E_{\text{CO}_2} = 321,3 \cdot 15 \cdot (0,1848 - 0,0666) \approx 569,5 \text{ тыс. т CO}_2/\text{год.}$$

Экономический эффект (экономия потребителей на топливе) определяется как разница в затратах на энергоносители:

$$S = N_{\text{ЭМ}} \cdot L \cdot \left(R_{\text{ДВС}} \cdot \frac{P_{\text{бензин}}}{100} - e_{\text{ЭМ}} \cdot \frac{P_{\text{эл}}}{100} \right), \quad (4)$$

где $P_{\text{бензин}}$ — средняя цена бензина в постоянных ценах, руб./л; $P_{\text{эл}}$ — средняя стоимость электроэнергии для зарядки, руб./кВт·ч, что в численном выражении составит (для базового варианта):

$$S = 321,3 \cdot 15 \cdot (4,8 - 1,08) \approx 17,9 \text{ млрд руб / год.}$$

Обе формулы основаны на методе замещения, широко используемом в оценке климатической эффективности инфраструктурных проектов, их применение дает возможность учитывать реальные российские условия: 1) высокий износ автопарка (через $R_{\text{ДВС}} = 8 \text{ л}/100 \text{ км}$); 2) низкоуглеродную структуру энергосистемы (через $CI_{\text{эл}} = 0,37 \text{ кг CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$); 3) суровый климат (через корректировку спроса коэффициентом γ).

В табл. 2 представлены структурные блоки модели и их ключевые переменные.

Таблица 2. Структура модели «инфраструктура – спрос – системные эффекты»

Table 2. Structure of the “infrastructure → demand → systemic effects” model

Блок модели	Описание	Ключевые переменные, формулы	Источник
Инфраструктурный	Оценка минимально необходимой плотности СБЗ на федеральных трассах (54 700 км)	Шаг размещения $\leq 200 \text{ км}$; $N_{\text{СБЗ}} = 900 \text{ шт.}$	ИМАШ РАН (2024):
Формирование спроса	Связь между числом СБЗ и численностью электромобилей	$\beta = 476$; $\gamma = 0,75$; $N_{\text{ЭМ}} = \beta \cdot \gamma \cdot N_{\text{СБЗ}}$	Данные ЦФО (Минэнерго РФ, «Автостат», 2023–2024)
Системные эффекты	Оценка экологических, энергетических и экономических последствий	Сокращение CO_2 : $\Delta E_{\text{CO}_2} = N_{\text{ЭМ}} \cdot L \times$ $\times (0,1848 - 0,0666)$ Экономия: $S = N_{\text{ЭМ}} \cdot L \cdot (4,8 - 1,08)$	Минприроды РФ (2024), IPCC (2023), расчеты авторов

Источник: составлено авторами.

Данная модель дает возможность определить точки воздействия государственной политики, направленной на преодоление инфраструктурного барьера и стимулирование устойчивого перехода к низкоуглеродной транспортной системе.

4. Результаты

4.1. Динамика развертывания инфраструктуры и инвестиционные затраты

Для преодоления инфраструктурного разрыва и создания условий для массового внедрения электромобилей в России проведен расчет минимально необходимой сети станций быстрой зарядки (СБЗ) на федеральных автомобильных дорогах общей протяженностью 54 700 км. Учитывая географическую протяженность страны, низкую плотность населения в большинстве регионов, суровые климатические условия (снижение запаса хода на 30–40 % при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и необходимость обеспечения резерва хода для надежности маршрута, в расчетах принят максимальный шаг размещения СБЗ — 200 км. Данный интервал обеспечивает возможность межрегиональных поездок даже в зимний период и соответствует международной практике формирования «зарядных коридоров доверия». При этом общее количество станций, необходимое для полного покрытия федеральной сети, составляет 900 единиц.

По состоянию на конец 2023 г. вдоль федеральных трасс функционировало 45 станций, что делало дальние поездки на электротранспорте практически невозможными за пределами Центральной России. Динамика развертывания инфраструктуры с учетом достигнутых результатов и прогноза представлена в табл. 3.

Таблица 3. Прогноз развертывания зарядной инфраструктуры на федеральных трассах России (2023–2030 гг.)

Table 3. Forecast for the deployment of charging infrastructure on Russian federal highways (2023–2030)

Показатель	Год							
	Факт		Прогноз					
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Количество ввода новых станций, шт.	45	95	130	150	150	125	100	105
Совокупное количество станций, шт.	45	140	270	420	570	695	795	900
Инвестиции в год, млн руб.	1345,5	2840,5	3887,0	4485,0	4485,0	3737,5	2990,0	3139,5
Совокупные инвестиции, млн руб.	1345,5	4186,0	8073,0	12558,0	17043,0	20780,5	23770,5	26910,0

Источник: составлено авторами.

Анализ динамики развертывания зарядной инфраструктуры на федеральных трассах России позволяет сделать следующие выводы:

- 1) на начальном этапе (2023–2024) развитие инфраструктуры носит фрагментарный и пилотный характер, что подтверждается низкими абсолютными значениями: к концу 2024 г. введено всего 140 станций на 54 700 км федеральных автомобильных дорог, что недостаточно для обеспечения межрегиональной мобильности за пределами Центральной России;
- 2) ключевой период приходится на 2025–2027 гг., когда ежегодные темпы ввода станций достигают максимума (130–150 единиц в год). Такая динамика отражает ожидаемый эффект от реализации государственных инициатив, роста парка электромобилей и адаптации энергетической инфраструктуры;
- 3) к 2030 г. планируется достичь совокупного уровня в 900 станций, что обеспечит среднюю плотность размещения ~1 станция на 61 км. Данный показатель значительно превышает минимально необходимый шаг в 200 км, обоснованный в разделе 3.2 с учетом суровых климатических условий (снижение емкости аккумуляторных батарей на 30–40 % при -20 °C) и требований к резерву хода. Это создает условия для надежной и комфортной межрегиональной мобильности даже в зимний период.

Совокупный объем капитальных вложений за 2023–2030 гг. составит 26,9 млрд руб. При этом с учетом субсидий на технологическое присоединение (до 60 % затрат) чистые инвестиции частного сектора сокращаются до 10,8 млрд руб., что делает проект экономически привлекательным и реализуемым при координации усилий государства, сетевых компаний и частных операторов.

Таким образом рассмотренный вариант предлагает целенаправленный переход от точечных решений к формированию целостной национальной зарядной сети, что является необходимым условием для преодоления инфраструктурного барьера и запуска начального этапа системной декарбонизации автотранспортного сектора Российской Федерации.

4.2. Комплексная оценка системных эффектов

Развертывание зарядной инфраструктуры не только формирует технические и логистические условия для роста парка электромобилей, но и напрямую способствует снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет вытеснения транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В условиях, когда на долю дорожного транспорта в России приходится около 13 % национальных выбросов CO₂ (Минприроды РФ, 2024), даже умеренное проникновение электромобилей может дать измеримый климатический эффект.

В расчетах учтена углеродная интенсивность российской электроэнергии ($0,37 \text{ кг CO}_2/\text{кВт}\cdot\text{ч}$), соответствующая текущей структуре генерации. При этом замещение ДВС-аналога ($8 \text{ л}/100 \text{ км}$) на электромобиль ($18 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/100 \text{ км}$) позволяет сократить выбросы CO_2 на 64% на километр пробега. Количественная оценка динамики этого эффекта в период 2023–2030 гг., рассчитанная в соответствии с методологией раздела 3.2 (коэффициент привязки $\beta = 476$, поправка $\gamma = 0,75$), представлена в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 4, позволяет сделать следующие выводы:

- 1) к 2030 г. совокупное сокращение выбросов CO_2 от автотранспорта может достичь $569,5$ тыс. тонн в год, что эквивалентно годовым выбросам около $205\,000$ автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (при среднем расходе $8 \text{ л}/100 \text{ км}$ и пробеге $15\,000 \text{ км}/\text{год}$);
- 2) экологический эффект носит нелинейный, ускоряющийся характер: около 75% всего сокращения приходится на период 2026–2030 гг., что коррелирует с достижением критической плотности зарядной инфраструктуры (900 станций на федеральных трассах) и ростом доверия потребителей к электротранспорту;
- 3) несмотря на то, что вклад сокращения выбросов в совокупные выбросы транспортного сектора остается умеренным (около $0,2 \%$, при условии, что транспорт генерирует 13% от национальных выбросов, или ~ 286 млн т $\text{CO}_2/\text{год}$), данный эффект имеет стратегическое значение. Он демонстрирует техническую и экономическую возможность декарбонизации автотранспорта в условиях обширной территории, сурового климата и энергетической периферии.

Таблица 4. Прогноз сокращения выбросов CO_2 от автотранспорта вследствие развертывания зарядной инфраструктуры (2023–2030)

Table 4. Forecast for the reduction of CO_2 emissions from motor vehicles due to the deployment of charging infrastructure (2023–2030)

Показатель	Год							
	Факт		Прогноз					
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Совокупное количество станций, шт.	45	140	270	420	570	695	795	900
Количество электромобилей, тыс. шт.	17,0	27,6	62,4	97,0	131,6	160,7	183,7	321,3
Сокращение выбросов CO_2 , тыс. т/год	30,6	49,7	112,3	174,6	236,9	289,2	330,8	569,5

Источник: составлено авторами.

Таким образом с учетом актуальных данных по парку электромобилей и примененной методологии корректировки на территориально-климатические различия, развертывание зарядной инфраструктуры приобретает не только логистическую, но и выраженную климатическую и экономическую целесообразность, формируя основу для последующего масштабирования низкоуглеродных транспортных решений в России.

Для всесторонней оценки последствий реализации сценария формирования национальной сети станций быстрой зарядки целесообразно дополнить анализ не только экологическими, но и энергетическими, экономическими и ресурсными аспектами.

Прогнозное количество электромобилей к 2030 г. (321,3 тыс. шт.) рассчитано на основе эмпирически обоснованного коэффициента привязки $\beta = 476$, полученного как соотношение числа зарегистрированных электромобилей (8575 шт.) к количеству станций быстрой зарядки (18 шт.) в Центральном федеральном округе на конец 2023 г.

Годовое потребление электроэнергии электромобилями (867,5 млн кВт·ч) определено по формуле:

$$E = \frac{N_{\text{ЭМ}} \cdot L \cdot e}{100}, \quad (5)$$

где $N_{\text{ЭМ}} = 321,3$ тыс. шт. — прогнозное количество электромобилей; $L = 15\,000$ км — средний годовой пробег; $e = 18$ кВт·ч/100 км — удельное энергопотребление.

Замещенный объем бензина (385,6 млн л/год) рассчитан по формуле:

$$V_{\text{бенз}} = \frac{N_{\text{ЭМ}} \cdot L \cdot R_{\text{ДВС}}}{100}, \quad (6)$$

где $R_{\text{ДВС}} = 8$ л/100 км — средний расход топлива автомобиля с ДВС.

На основе этого оценена годовая экономия потребителей (17,9 млрд руб./год), определенная как разность между затратами на бензин и электроэнергию при ценах 60 руб./л и 6 руб./кВт·ч, соответственно.

Совокупное сокращение выбросов CO_2 (569,5 тыс. т/год) оценено методом замещения (avoided emissions approach), рекомендованным ИРСС (2023) и применяемым в Национальном докладе по парниковым газам (Минприроды РФ, 2024). Расчет выполнен с использованием коэффициента эмиссии бензина (2,31 кг CO_2 /л) и углеродной интенсивности российской электроэнергии (0,37 кг CO_2 /кВт·ч), что обеспечивает сопоставимость с международными и национальными климатическими учетными системами.

Совокупные инвестиции в инфраструктуру (26,9 млрд руб.) соответствуют развертыванию 900 станций быстрой зарядки мощностью 150–350 кВт, оснащенных обязательными системами климатической адаптации (подогрев,

термостабилизация, резервное питание), при средней стоимости единицы 29,9 млн руб. (Минэнерго РФ, 2023–2024).

Удельные инвестиции на тонну сокращенных выбросов (47,2 тыс. руб./т) рассчитаны как отношение совокупных капитальных затрат к годовому экологическому эффекту и сопоставимы по эффективности с аналогичными мерами в энергетике и промышленности.

В табл. 5 представлена интегральная оценка ключевых системных эффектов к 2030 г., включая дополнительную нагрузку на энергосистему, объем замещенного автомобильного топлива, годовую экономию потребителей и удельную эффективность инвестиций с точки зрения снижения выбросов парниковых газов.

Анализ данных табл. 5 позволяет сделать следующие выводы:

- 1) несмотря на значительный рост парка электромобилей до 321,3 тыс. единиц к 2030 г., совокупная нагрузка на национальную энергосистему останется умеренной, то есть всего 0,079 % от общего объема потребления электроэнергии в России. Это подтверждает, что даже при ускоренном внедрении электромобилей риск системной перегрузки

Таблица 5. Комплексная оценка системных эффектов от развертывания зарядной инфраструктуры (к 2030 г.)

Table 5. Comprehensive assessment of the systemic effects from the deployment of charging infrastructure (by 2030)

Показатель	Значение	Примечание
Совокупное количество электромобилей	321,3 тыс. шт.	Прогнозное значение (табл. 4)
Годовое потребление электроэнергии электромобилями	867,5 млн кВт·ч	При среднем пробеге 15 000 км/год и расходе 18 кВт·ч/100 км
Доля в общем потреблении электроэнергии в РФ	0,079 %	При национальном потреблении ~1 100 млрд кВт·ч/год
Замещенный объем бензина	385,6 млн л/год	При среднем расходе ДВС 8 л/100 км
Экономия потребителей на топливе	17,9 млрд руб./год	При средней цене бензина 60 руб./л
Совокупное сокращение выбросов CO ₂	569,5 тыс. т/год	Прогнозное значение (табл. 4)
Совокупные инвестиции в инфраструктуру	26,9 млрд руб.	Прогнозное значение (табл. 3)
Удельные инвестиции на 1 т CO ₂	47,2 тыс. руб./т	Отношение совокупных инвестиций к сокращению выбросов

Источник: составлено авторами.

- энергосетей отсутствует, хотя локальное усиление распределительных сетей вдоль федеральных трасс остается необходимым условием для обеспечения надежности зарядной инфраструктуры;
- 2) экономический эффект для потребителей оказывается существенным: ежегодная экономия на топливе составит 17,9 млрд руб., а объем замещенного бензина — 385,6 млн л в год. Это создает устойчивый рыночный стимул к переходу на электротранспорт и снижает зависимость удаленных регионов от дорогостоящей логистики нефтепродуктов, особенно в условиях роста цен на ископаемое топливо;
 - 3) показатель удельных инвестиций на тонну сокращенного CO₂ составляет 47,2 тыс. руб./т, что делает проект высокоэффективным с точки зрения климатической политики. Для сравнения, аналогичные показатели в сценариях с возобновляемыми источниками энергии в России составляют 50–100 тыс. руб./т. Это подчеркивает конкурентоспособность инфраструктурного подхода к декарбонизации транспорта и его приоритетность в условиях ограниченных бюджетных ресурсов.

Таким образом, предложенный вариант развертывания национальной сети станций быстрой зарядки демонстрирует высокую экономическую целесообразность, умеренное энергетическое воздействие и значимый вклад в достижение национальных климатических целей, что подтверждает исходную гипотезу исследования.

5. Обсуждение

Полученные в ходе исследования эмпирические результаты подтверждают исходную гипотезу: формирование к 2030 г. национальной сети из 900 станций быстрой зарядки на федеральных автомобильных дорогах России представляет собой технически реализуемый и экономически эффективный вариант развития, способный преодолеть существующий инфраструктурный барьер и инициировать начальный этап системной декарбонизации автотранспортного сектора в условиях обширной территории, низкой плотности населения и сурового климата.

Во-первых, техническая реализуемость рассмотренного варианта подтверждается расчетами, которые показывают, что даже при консервативной оценке спроса (с учетом поправочного коэффициента $\gamma = 0,75$) развертывание инфраструктуры приведет к формированию парка из 321,3 тыс. электромобилей и сокращению выбросов CO₂ на 569,5 тыс. т в год. Этот эффект, хотя и составляет лишь 0,2 % от совокупных национальных выбросов, имеет стратегическое значение: он демонстрирует принципиальную возможность декарбонизации межрегионального транспорта вне центральных регионов, что ранее считалось экономически и логистически недостижимым.

Фактическая плотность сети к 2030 г. (~61 км между станциями) превышает минимально необходимый уровень, что соответствует международной

практике формирования «зарядных коридоров доверия» и рекомендациям IEA (2024), а также находит подтверждение в работах Gnapp et al. [3].

Во-вторых, экономическая эффективность подтверждается значением удельных инвестиций на тонну сокращенных выбросов CO₂, составляющим 47,2 тыс. руб./т. Данный показатель сопоставим или превосходит эффективность аналогичных мер в секторе возобновляемой энергетики (50–100 тыс. руб./т, ИЭФ, 2023). Полученный результат согласуется с выводами Gillingham & Stock [28] и Wang et al. [4], согласно которым инфраструктурные меры в транспортном секторе могут быть более рентабельным инструментом снижения выбросов, чем прямые субсидии на приобретение транспортных средств.

В-третьих, инициация системной декарбонизации подтверждается прогнозируемым к 2030 г. формированием парка из 321,3 тыс. электромобилей и сокращением выбросов CO₂ на 569,5 тыс. т/год. Эти показатели на порядок превышают оценки Каталевского и Гареева [21] для пилотных регионов и находятся в согласии с умеренным сценарием развития электромобильности, предложенным Шарковой [37] (450 тыс. ЭМ к 2035 г.).

Тем не менее исследование имеет ряд ограничений, характерных для детерминированных моделей: 1) не учитывается поведенческая неопределенность (готовность потребителей к переходу на ЭМ); 2) не моделируется конкуренция с другими низкоуглеродными технологиями (водород, синтетическое топливо); 3) предполагается стабильность цен на энергоносители и неизменность климатической политики.

Несмотря на указанные ограничения, прогностическая ценность модели сохраняется, поскольку ее целью является оценка потенциально достижимых эффектов при условии последовательной и скоординированной реализации государственной инфраструктурной политики.

6. Рекомендации для практики

Для реализации предложенного решения, обеспечивающего устойчивый переход к низкоуглеродному автотранспорту в России, необходим дополнительный комплекс организационно-экономических мер, направленных на координацию усилий государства, бизнеса и инфраструктурных операторов.

На основе анализа текущих барьеров и международного опыта выделяются следующие ключевые направления.

Во-первых, формирование единой государственной координационной платформы. Отсутствие централизованного управления процессом развертывания зарядной инфраструктуры приводит к дублированию усилий и несогласованности стандартов. Целесообразно создание межведомственной рабочей группы под руководством Министерства транспорта РФ с участием Минэнерго, Минпромторга, Минприроды и представителей регионов.

Такая платформа должна обеспечивать: 1) утверждение единых технических требований к зарядным станциям (включая адаптацию к климатическим

условиям); 2) мониторинг выполнения целевых показателей по регионам; 3) координацию с сетевыми компаниями по модернизации распределительных сетей.

Во-вторых, внедрение механизмов государственной поддержки частных инвесторов. Учитывая высокую капиталоемкость и длительный срок окупаемости зарядных станций (особенно в малонаселенных регионах), необходимо стимулировать частный сектор: 1) субсидирование до 30–50 % капитальных затрат на строительство станций в «зарядных коридорах»; 2) предоставление налоговых льгот (например, снижение ставки налога на имущество или освобождение от НДС на оборудование); 3) гарантированное возмещение части операционных издержек (например, на электроэнергию) в первые 3–5 лет эксплуатации.

В-третьих, интеграция зарядной инфраструктуры в существующие транспортные и энергетические проекты. Развертывание станций должно быть увязано с программами модернизации федеральных трасс (в рамках нацпроекта «Безопасные качественные дороги»), а также с проектами по цифровизации энергосетей. Это позволит снизить затраты за счет совместного использования земельных участков, инженерной инфраструктуры и сервисных объектов (АЗС, автосервисы и т. д.).

В-четвертых, стимулирование спроса на электромобили через «инфраструктурно-потребительский» пакет мер. Инфраструктурные инвестиции должны сопровождаться мерами по повышению доступности электромобилей для населения: 1) расширение программы льготного автокредитования и лизинга для электромобилей; 2) введение «зеленых» преференций (бесплатная парковка, выделенные полосы, освобождение от транспортного налога); 3) развитие программ утилизации старых автомобилей с доплатой за переход на электромобили.

В-пятых, создание цифровой экосистемы управления зарядной инфраструктурой. Для повышения эффективности использования станций и удобства пользователей необходимо внедрение единой цифровой платформы, обеспечивающей: 1) прозрачность тарифов и доступности станций в реальном времени; 2) интеграцию с навигационными и платежными сервисами; 3) сбор и анализ данных для оптимизации дальнейшего размещения инфраструктуры.

Данный комплекс мер формирует устойчивую системную модель, способную преодолеть существующую «координационную ловушку», характеризующуюся взаимообусловленным сдерживанием: недостаточная развитость зарядной инфраструктуры ограничивает рост потребительского спроса на электромобили, в то время как низкий уровень спроса, в свою очередь, снижает инвестиционную привлекательность проектов по развертыванию инфраструктуры (рис. 1).

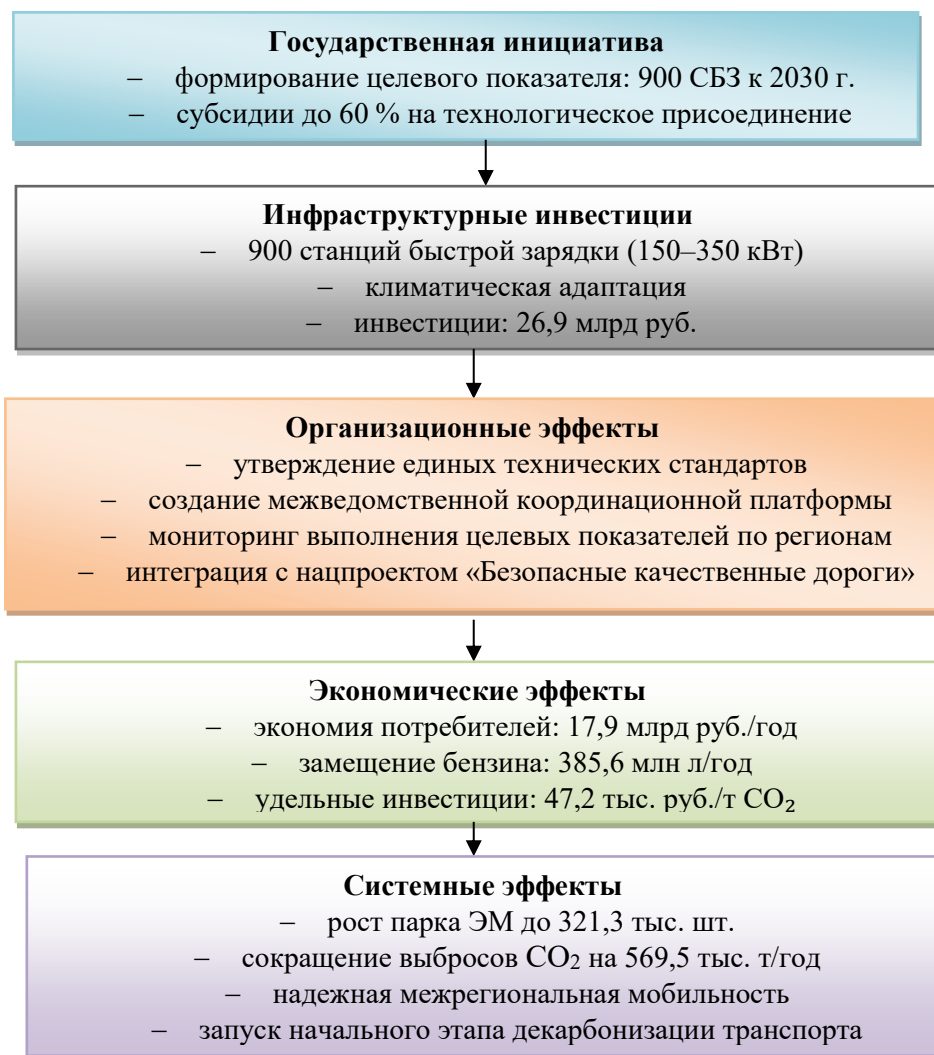


Рис. 1. Организационно-экономические эффекты формирования национальной сети станций быстрой зарядки к 2030 г.

Figure 1. Organizational and economic effects of establishing a national fast-charging station network by 2030

Источник: составлено авторами.

Данная схема визуализирует причинно-следственную логику реализации предложенной модели «инфраструктура → спрос → системные эффекты» в условиях российской специфики. Она представляет собой многоуровневую цепочку преобразования стратегического решения в измеримые социально-экономические результаты.

Инфраструктурный блок, являющийся первичным звеном модели, формируется на основе государственной инициативы, которая задает целевой показатель (900 станций быстрой зарядки к 2030 г.) и обеспечивает его

финансирование через механизмы субсидирования (до 60 % затрат на технологическое присоединение).

Блок формирования спроса реализуется как трансляция инфраструктурных инвестиций в организационные и экономические эффекты, обеспечивающие функционирование системы и стимулирование потребительского спроса. Ключевыми компонентами данного звена являются утверждение единых технических стандартов, создание межведомственной координационной платформы, мониторинг выполнения целевых показателей по регионам и интеграция проекта с национальными программами (например, «Безопасные качественные дороги»).

Системные эффекты, представляющие собой конечное звено модели, являются эмпирическим подтверждением гипотезы исследования и отражают стратегическое влияние реализации инфраструктурной политики. Данный блок характеризуется достижением следующих целевых показателей: формирование парка электромобилей в объеме 321,3 тыс. единиц, сокращение годовых выбросов CO₂ на 569,5 тыс. т, обеспечение надежной межрегиональной мобильности и запуск начального этапа системной декарбонизации автотранспортного сектора.

Таким образом, предложенный в исследовании вариант оценки минимального уровня доступности инфраструктуры выходит за рамки чисто технического решения и становится основой для устойчивого перехода к углеродной нейтральности в транспортной отрасли России.

7. Заключение

Настоящее исследование было направлено на обоснование минимально необходимого уровня доступности зарядной инфраструктуры для электротранспорта в России и количественную оценку системных эффектов от ее развертывания с учетом специфики обширной территории, низкой плотности населения и суровых климатических условий. Поставленная цель достигнута, с помощью адаптированной к российским реалиям детерминированной модели «инфраструктура → спрос → системные эффекты», впервые учитывающей территориальную и климатическую неоднородность страны через поправочный коэффициент γ . В ходе исследования были решены все заявленные задачи.

Во-первых, выявлены и систематизированы четыре ключевых инфраструктурных барьера: энергетическая недоступность, старение автопарка, фрагментация государственной политики и суровые климатические условия.

Во-вторых, обоснован минимально необходимый объем сети — 900 станций, обеспечивающих шаг размещения не более 200 км и учитывающих резерв надежности маршрута в зимний период.

В-третьих, количественно оценены системные эффекты сценария: при прогнозируемом парке в 321,3 тыс. электромобилей к 2030 г. будет достигнуто

сокращение выбросов CO₂ на 569,5 тыс. т/год, годовая экономия потребителей составит 17,9 млрд руб., а удельные инвестиции на тонну сокращенных выбросов — 47,2 тыс. руб./т.

В-четвертых, предложен комплекс мер по координации усилий государства, бизнеса и регионов для преодоления «координационной ловушки».

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и эмпирической верификации трехзвенной модели, впервые количественно учитывающей территориальную и климатическую асимметрию России при оценке связи между инфраструктурой и спросом на электромобили.

Практическая значимость состоит в предложении конкретного, измеримого и воспроизводимого варианта (900 станций быстрой зарядки к 2030 г.), который может быть использован при формировании дорожной карты по декарбонизации транспорта и включении зарядной инфраструктуры в национальную систему учета парниковых газов.

Таким образом, преодоление инфраструктурного разрыва в сфере электромобильности — это не только техническая, но ключевая институциональная и экономическая задача, решение которой требует скоординированных действий государства, бизнеса и регионов.

Список использованных источников

1. *Hardman S., Chandan A., Tal G., Turrentine T.* The effectiveness of financial purchase incentives for battery electric vehicles — A review of the evidence // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80. Pp. 1100–1111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.255>
2. *Chunlin G., Yang J., Yang L.* Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply // *Energies*. 2018. Vol. 11, Issue 9. 2314. <https://doi.org/10.3390/en11092314>
3. *Gnann T., Funke S., Jakobsson N., Plötz P., Sprei F., Bennehag A.* Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018. Vol. 62. Pp. 314–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>
4. *Wang X., Song Z., Xu H., Wang H.* En-route fast charging infrastructure planning and scheduling for battery electric bus systems // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2023. Vol. 117. 103659. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103659>
5. *Awaworyi Churchill S., Inekwe J., Ivanovski K., Smyth R.* Transport infrastructure and CO2 emissions in the OECD over the long run // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. Vol. 95. 102857. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102857>
6. *Дежина И., Раднабазарова С.* Стимулирование спроса на электромобили в мире и российский контекст // *Мировая экономика и международные отношения*. 2022. Т. 66, № 7. С. 55–65. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2022-66-7-55-65>
7. *Rezvani Z., Jansson J., Bodin J.* Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015. Vol. 34. Pp. 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>
8. *Unterluggauer T., Rich J., Andersen P. B., Hashemi S.* Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review // *eTransportation*. 2022. Vol. 12. 100163. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100163>
9. *Sovacool B. K., Kester J., Noel L., de Rubens G. Z.* The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric

mobility preferences in six countries // *Global Environmental Change*. 2018. Vol. 52. Pp. 86–100. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.06.008>

10. *Calatayud A., Rivas M. E., Camacho J., Beltrán C., Ansaldo M., Café E.* Transportation 2050: Pathways to Decarbonization and Climate Resilience in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank, 2023. 453 p. <https://doi.org/10.18235/0005196>

11. *Gicha B. B., Tufa L. T., Lee J.* The electric vehicle revolution in Sub-Saharan Africa: Trends, challenges, and opportunities // *Energy Strategy Reviews*. 2024. Vol. 53. 101384. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101384>

12. *Zhao L., Xie M., Dong J., Zheng Z., Wang X.* Electric Vehicle Charging Facility Planning in Shenzhen Power Supply Bureau Limited Company // *Proceedings of 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. IEEE, 2012. Pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183185>

13. *Yang X.-G., Zhang G., Ge S., Wang C.-Y.* Fast charging of lithium-ion batteries at all temperatures // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018. Vol. 115, No. 28. Pp. 7266–7271. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807115115>

14. *Bohnsack R., Pinkse J., Kolk A.* Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles // *Research Policy*. 2014. Vol. 43, Issue 2. Pp. 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.014>

15. *Babu A. R., Minovski B., Sebben S.* Thermal encapsulation of large battery packs for electric vehicles operating in cold climate // *Applied Thermal Engineering*. 2022. Vol. 212. 118548. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118548>

16. *Терентьев Е. Е., Блянкинштейн И. М.* Методика выбора типа аккумулятора для эксплуатации электромобилей в регионах с холодным климатом // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2023. № 1. С. 112–124. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-1-112>

17. *Ugwu M. C., Adewusi A. O.* International EV policies: A comparative review of strategies in the United States and Nigeria for promoting electric vehicles // *International Journal of Scholarly Research and Reviews*. 2024. Vol. 4, Issue 2. Pp. 11–23. <https://doi.org/10.56781/ij-srr.2024.4.2.0028>

18. *Geels F. W., Kern F., Fuchs G., Hinderer N., Kungl G., Mylan J., Neukirch M., Wassermann S.* The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014) // *Research Policy*. 2016. Vol. 45, Issue 4. Pp. 896–913. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.015>

19. *Kivimaa P., Kern F.* Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions // *Research Policy*. 2016. Vol. 45, Issue 1. Pp. 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>

20. *Caulfield B., Furszyfer D., Stefaniec A., Foley A.* Measuring the equity impacts of government subsidies for electric vehicles // *Energy*. 2022. Vol. 248. 123588. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123588>

21. *Каталеский Д. Ю., Гареев Т. П.* Имитационное моделирование для прогнозирования развития автомобильного электротранспорта на уровне региона // *Балтийский регион*. 2020. Т. 12, № 2. С. 118–139. <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2020-2-8>

22. *Shafiei E., Davíðsdóttir B., Fazeli R., Leaver J., Stefansson H., Asgeirsson E. I.* Macroeconomic effects of fiscal incentives to promote electric vehicles in Iceland: Implications for government and consumer costs // *Energy Policy*. 2018. Vol. 114. Pp. 431–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.034>

23. *Dhokal T., Min K. S.* Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion // *Foresight and STI Governance*. 2021. Vol. 15, No. 1. Pp. 67–73. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.1.67.73>

24. *Аликберова Т. Т., Белик И. С., Стародубец Н. В.* Адаптация транспортного сектора к процессам декарбонизации в России // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2023. № 8 (134). С. 1–16. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.65>

25. Колесникова А. В. Тенденции использования электротранспорта в Российской Федерации в контексте декарбонизации транспортной отрасли // Вестник Московского университета. Серия 21. Управление (государство и общество). 2025. Т 22, № 1. С. 62–84. <https://doi.org/10.55959/MSU2073-2643-22-2025-1-62-84>
26. Ростовский И. К. Экономический анализ рынков электромобилей в мире и крупнейших странах и регионах // Научные труды Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. Т. 2020. С. 201–218. <https://doi.org/10.47711/2076-318-2020-201-218>
27. Трофименко Ю. В., Гинзбург В. А., Якубович А. Н., Лытов В. М., Шелмаков С. В., Зеленова М. С. Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации // Научный вестник МГТУ ГА. 2025. Т. 28, № 1. С. 78–96. <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96>
28. Gillingham K., Stock J. H. The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions // Journal of Economic Perspectives. 2018. Vol. 32, No. 4. Pp. 53–72. <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.53>
29. Кудрявцева О. В., Барабошкина А. В., Надененко А. К. Устойчивое низкоуглеродное развитие городского общественного транспорта: зарубежный и российский опыт // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2021. Т. 14, № 12. С. 1795–1807. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0859>
30. Беляев Д. С., Генсон Е. М. Определение расхода электроэнергии при эксплуатации электромобилей в загородном режиме // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2022. № 1. С. 5–11. <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.01.01>
31. Popova I., Kolmar O. Russia's low carbon development policy: opportunities and constraints in new economic and political reality // International Organisations Research Journal. 2023. Vol. 18, No. 4. Pp. 62–95. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-04-03>
32. Харитончик С. В., Ивуть Р. Б., Скирковский С. В. Эффективность использования электромобилей // Наука и Техника. 2025. Т. 24, № 3. С. 246–256. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-3-246-256>
33. Nefedova L., Solovyev D., Berezkin M., Degtyarev K. Prospects of low-carbon development in Russia: the role of renewable energy and challenges of sanctions // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 461. 01049. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101049>
34. Семчишина О. Т. Ключевые проблемы и перспективы развития зарядной инфраструктуры для электромобилей // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15, № 3. С. 1791–1808. <https://doi.org/10.18334/epp.15.3.122596>
35. Мусаева Д. Э., Тимохин Р. В., Фрей Д. А. Влияние государственных мер поддержки на развитие рынка электроразрядной инфраструктуры в РФ // Теория и практика общественного развития. 2024. № 6. С. 114–124. <https://doi.org/10.24158/tpor.2024.6.15>
36. Виленская Н. И. Инфраструктура для электромобилей в Калининградской области: проблемы и перспективы // Вестник МГПУ «Естественные науки». 2023. № 2 (50). 71. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.50.2.06>
37. Шаркова А. В., Петухова Е. П., Капустина М. Д., Романов А. С. Сценарии развития электромобилей и зарядной инфраструктуры в Российской Федерации на период до 2035 года // Экономика, предпринимательство и право. 2025. Т. 15, № 4. С. 2535–2546. <https://doi.org/10.18334/epp.15.4.122870>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белик Ирина Степановна

Доктор экономических наук, профессор кафедры экономической безопасности производственных комплексов Института экономики и управления Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7405-3226> e-mail: irinabelik2010@mail.ru

Аликберова Тамила Тагировна

Старший преподаватель кафедры финансового и налогового менеджмента Института экономики и управления Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7382-0980> e-mail: tamila.alikberova@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ


Белик И. С., Аликберова Т. Т. Инфраструктурные аспекты развития электротранспорта в России: системные барьеры и эффекты преодоления // *Journal of Applied Economic Research*. 2026. Т. 25, № 1. С. 283–317. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2026.25.1.010>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 4 ноября 2025 г.; дата поступления после рецензирования 3 декабря 2025 г.; дата принятия к печати 8 декабря 2025 г.

Infrastructure Aspects of Electric Transport Development in Russia: Systemic Barriers and Effects of Their Overcoming

Irina S. Belik , Tamila T. Alikberova  

Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
 tamila.alikberova@mail.ru

Abstract. Achieving carbon neutrality in Russia's transport sector largely depends on overcoming a systemic infrastructure barrier – the shortage and territorial imbalance of the charging station network. Given the country's vast territory, low population density, harsh climate, and high degree of vehicle fleet wear and tear, the establishment of a basic backbone charging infrastructure becomes a priority condition for initiating the decarbonization process. The article examines the problems of electric transport development related to the infrastructure sphere. Based on a deterministic "infrastructure→demand→systemic effects" model, adapted to Russian conditions (i. e., accounting for climate and demographic asymmetry through a correction coefficient, $\alpha = 0.75$), it is determined that achieving a minimum level of electric transport infrastructure accessibility in Russia will ensure systemic effects from its deployment. The main effects are: an annual reduction of CO₂ emissions by 569.5 thousand tons and fuel savings amounting to 17.9 billion rubles. The specific investments will amount to 47.2 thousand rubles/ton of CO₂, and the value of these investments, compared to alternative decarbonization measures, confirms the economic efficiency of the proposed solutions. Based on a geographical analysis of federal highways, the minimally required number of fast-charging stations is substantiated – 900 units with a placement interval not exceeding 200 km. According to calculations, by 2030, this will enable the formation of a fleet of 321.3 thousand electric vehicles and ensure reliable interregional mobility not only in the Central Federal District but also in districts with harsh climatic conditions, including the Urals, Siberia, and the Far East. Accounting for the climatic adaptation of charging stations, including heating systems, thermal stabilization, and backup power, is a mandatory condition for their functional reliability in regions with prolonged periods of low temperatures. Thus, the obtained results indicate the technical and strategic feasibility of the proposed solutions and serve to coordinate state support measures, investment policy, and infrastructure development.

Key words: transport decarbonization; charging infrastructure, electromobility; fast-charging stations; infrastructure barriers; energy transition; ecological and economic efficiency.

JEL Q53, Q57, R41

References

1. Hardman, S., Chandan, A., Tal, G., Turrentine, T. (2017). The effectiveness of financial purchase incentives for battery electric vehicles — A review of the evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 80, 1100–1111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.255>
2. Chunlin, G., Yang, J., Yang, L. (2018). Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply. *Energies*, Vol. 11, Issue 9, 2314. <https://doi.org/10.3390/en11092314>
3. Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., Bennehag, A. (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles: Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 62, 314–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.004>

4. Wang, X., Song, Z., Xu, H., Wang, H. (2023). En-route fast charging infrastructure planning and scheduling for battery electric bus systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 117, 103659. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103659>
5. Awaworyi Churchill, S., Inekwe, J., Ivanovski, K., Smyth, R. (2021). Transport infrastructure and CO2 emissions in the OECD over the long run // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 95, 102857. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102857>
6. Dezhina, I., Radnabazarova, S. (2022). Stimulating Demand for Electric Vehicles Worldwide and the Russian Context. *World Economy and International Relations*, Vol. 66, No. 7, 55–65. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2022-66-7-55-65>
7. Rezvani, Z., Jansson, J., Bodin, J. (2015). Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 34, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.001>
8. Unterluggauer, T., Rich, J., Andersen, P.B., Hashemi, S. (2022). Electric vehicle charging infrastructure planning for integrated transportation and power distribution networks: A review. *eTransportation*, Vol. 12, 100163 <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100163>
9. Sovacool, B.K., Kester, J., Noel, L., de Rubens, G.Z. (2018). The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric mobility preferences in six countries. *Global Environmental Change*, Vol. 52, 86–100. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.06.008>
10. Calatayud, A., Rivas, M.E., Camacho, J., Beltrán, C., Ansaldo, M., Café, E. (2023). *Transportation 2050: Pathways to Decarbonization and Climate Resilience in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank., 453 p. <https://doi.org/10.18235/0005196>
11. Gicha, B.B., Tufa, L.T., Lee, J. (2024). The electric vehicle revolution in Sub-Saharan Africa: Trends, challenges, and opportunities. *Energy Strategy Reviews*, Vol. 53, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101384>
12. Zhao, L., Xie, M., Dong, J., Zheng, Z., Wang, X. (2012). Electric Vehicle Charging Facility Planning in Shenzhen Power Supply Bureau Limited Company. *Proceedings of 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. IEEE, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IEVC.2012.6183185>
13. Yang, X.-G., Zhang, G., Ge, S., Wang, C.-Y. (2018). Fast charging of lithium-ion batteries at all temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 115, No. 28, 7266–7271. <https://doi.org/10.1073/pnas.1807115115>
14. Bohnsack, R., Pinkse, J., Kolk, A. (2014). Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Research Policy*, Vol. 43, Issue 2, 284–300. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.014>
15. Babu, A.R., Minovski, B., Sebben, S. (2022). Thermal encapsulation of large battery packs for electric vehicles operating in cold climate. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 212, 118548. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118548>
16. Terentyev, E. E., Blyankinshteyn, I.M. (2023). Methodology for selecting the type of battery for electric vehicle operation in regions with a cold climate. *Intellect. Innovations. Investments*, No. 1, 112–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-1-11>
17. Ugwu, M.C., Adewusi, A.O. (2024). International EV policies: A comparative review of strategies in the United States and Nigeria for promoting electric vehicles. *International Journal of Scholarly Research and Reviews*, Vol. 4, Issue 2, 11–23. <https://doi.org/10.56781/ijssr.2024.4.2.0028>
18. Geels, F.W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., Wassermann, S. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research Policy*, Vol. 45, Issue 4, 896–913. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.015>
19. Kivimaa, P., Kern, F. (2016). Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, Vol. 45, Issue 1, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>

20. Caulfield, B., Furszyfer, D., Stefaniec, A., Foley, A. (2022). Measuring the equity impacts of government subsidies for electric vehicles. *Energy*, Vol. 248, 123588. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123588>
21. Katalievskiy, D. Y., Gareev, T.R. (2020). Simulation modeling for forecasting the development of electric road transport at the regional level. *Baltic Region*, Vol. 12, No. 2, 118–139. (In Russ.). <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2020-2-8>
22. Shafiei, E., Davíðsdóttir, B., Fazeli, R., Leaver, J., Stefansson, H., Asgeirsson, E.I. (2018). Macroeconomic effects of fiscal incentives to promote electric vehicles in Iceland: Implications for government and consumer costs. *Energy Policy*, Vol. 114, 431–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.034>
23. Dhakal, T., Min, K.S. (2021). Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion. *Foresight and STI Governance*, Vol. 15, No. 1, 67–73. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2021.1.67.73>
24. Alikberova, T.T., Belik, I.S., Starodubets, N.V. (2023). Adaptation of the transport sector to decarbonization processes in Russia. *International Research Journal*, No. 8, 1–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.65>
25. Kolesnikova, A.V. (2025). Trends in the use of electric transport in the Russian Federation in the context of decarbonization of the transport industry. *Lomonosov Public Administration Journal. Series 21*, Vol. 22, No. 1, 62–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.55959/MSU2073-2643-22-2025-1-62-84>
26. Rostovskiy, J.K. (2020). Economic analysis of electric vehicle markets in the world and major countries and regions. *Scientific Works of the Institute for Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 2020, 201–218. (In Russ.). <https://doi.org/10.47711/2076-318-2020-201-218>
27. Trofimenko, Yu.V., Ginzburg, V.A., Yakubovich, A.N., Lytov, V.M., Shelmakov, S.V., Zelenova, M.S. (2025). Improved method for calculated monitoring of greenhouse gas emissions from road and off-road transport in the Russian Federation. *Civil Aviation High Technologies*, Vol. 28, No. 1, 78–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96>
28. Gillingham, K., Stock, J.H. (2018). The Cost of Reducing Greenhouse Gas Emissions. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 32, No. 4, 53–72. <https://doi.org/10.1257/jep.32.4.53>
29. Kudryavtseva, O.V., Baraboshkina, A.V., Nadenenko, A.K. (2021). Sustainable low-carbon development of urban public transport: foreign and Russian experience. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, Vol. 14, No. 12, 1795–1807. (In Russ.). <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0859>
30. Belyaev, D.S., Genson, E.M. (2023). Determination of electricity consumption during electric vehicle operation in suburban mode. *Transport. Transport Facilities. Ecology*, No. 1, 5–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2411678/2022.01.01>
31. Popova, I., Kolmar, O. (2023). Russia's low carbon development policy: opportunities and constraints in new economic and political reality. *International Organisations Research Journal*, Vol. 18, No. 4, 62–95. <https://doi.org/10.17323/1996-7845-2023-04-03>
32. Kharytonchyk, S.V., Ivut, R.B., Skirkouski, S.V. (2025). Efficiency of Using Electric Vehicles. *Science & Technique*, Vol. 24, No. 3, 246–256. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-3-246-256>
33. Nefedova, L., Solov'yev, D., Berezkin, M., Degtyarev, K. (2023). Prospects of low-carbon development in Russia: the role of renewable energy and challenges of sanctions. *E3S Web of Conferences*, Vol. 461, 01049. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346101049>
34. Semchishina, O.T. (2025). Key problems and prospects for the development of charging infrastructure for electric vehicles. *Economics, Entrepreneurship and Law*, Vol. 15, No. 3, 1791–1808. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.15.3.122596>
35. Musaeva, D.E., Timokhin, R.V., Frey, D.A. (2024). The impact of state support measures on the development of the electric charging infrastructure market in the Russian Federation. *Theory and Practice of Social Development*, No. 6, 114–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.24158/tipor.2024.6.15>

36. Vilenskaya, N.I. (2023). Infrastructure for electric vehicles in the Kaliningrad region: Problems and prospects. *Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series "Pedagogy and Psychology"*, No. 2, 71. (In Russ.). <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2023.50.2.06>

37. Sharkova, A.V., Petukhova, E.P., Kapustina, M.D., Romanov, A.S. (2025). Scenarios for the development of electric vehicles and charging infrastructure in the Russian Federation for the period until 2035. *Economics, Entrepreneurship and Law*, Vol. 15, No. 4, 2535–2546. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/epp.15.4.122870>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Irina Stepanovna Belik

Doctor of Economics, Professor, Department of Economic Safety of Industrial Complexes, School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7405-3226> e-mail: irinabelik2010@mail.ru

Tamila Tagirovna Alikberova

Senior Lecturer, Department of Financial and Tax Management, School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7382-0980> e-mail: tamila.alikberova@mail.ru

FOR CITATION

Belik, I.S., Alikberova, T.T. (2026). Infrastructure Aspects of Electric Transport Development in Russia: Systemic Barriers and Effects of Their Overcoming. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 25, No. 1, 283–317. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2026.25.1.010>

ARTICLE INFO

Received November 4, 2025; Revised December 3, 2025; Accepted December 8, 2025.

