

КОМПЛЕКСНАЯ КОНЦЕПЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЁЖНОСТИ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Абдулло Мамадамон

Таджикский технический университет имени академик М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Безопасность, механическая надёжность и экологическая эффективность автомобильного транспорта в горных условиях традиционно изучаются как обособленные проблемы с разрозненной нормативной базой. По мере масштабной электрификации парка такое разделение теряет научную состоятельность, поскольку единый физический механизм (степень истощения ёмкости накопителя при рекуперативном торможении) одновременно определяет тепловую нагруженность фрикционных механизмов, надёжность узлов и уровень неотработавшей эмиссии частиц. В исследовании синтезированы четыре взаимосвязанных направления в рамках единой концепции, где критическая длина истощения рекуперации выступает междисциплинарным системообразующим параметром. На основе официальной статистики ДТП в Республике Таджикистан за 2016–2025 гг., фиксирующей рост смертности, на 50,6 % при стабильном числе аварий, а также натурных испытаний 117 шин, строго доказано, что для груженого грузового автомобиля ёмкость батареи истощается через 6,9–13,8 км затяжного спуска. После истощения рекуперации вся тормозная нагрузка переходит на фрикционные механизмы, нерассчитанные на столь интенсивную работу. Установленный пороговый критерий напрямую определяет соотношение неотработавшей эмиссии электромобилей с выбросами ДВС. Предложенная инвариантная модель продольной динамики позволяет научно обосновать оптимальное проектирование и размещение зарядной инфраструктуры по минимуму профиля уровня заряда.

Ключевые слова: горный автомобильный транспорт; безопасность эксплуатации; надёжность; эмиссия по полному циклу; рекуперативное торможение; электромобиль; зарядная инфраструктура; Республика Таджикистан.

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСИИ БЕХАТАРӢ, ЭЪТИМОДНОКӢ ВА ӲИФЗИ МУӲИТИ ЗИСТ ДАР ИСТИФОДАБАРИИ НАҚЛИЁТИ АВТОМОБИЛӢ ДАР ШАРОИТИ КӲӲИСТОН

Абдулло Мамадамон

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Беҳатарӣ, эътимоднокии механикӣ ва самаранокии экологии нақлиёти автомобилӣ дар шароити кӯҳӣ одатан ҳамчун масъалаҳои алоҳида дар асоси меъёрҳои гуногун омӯхта мешаванд. Бо барқкунониҳои васеи парки нақлиётӣ чунин тақсимшавӣ пояи илмиро гум мекунад, зеро як механизми физикӣ, яъне дараҷаи пур шудани нигоҳдоранда ҳангоми боздории рекуперативӣ, ҳамзамон сарбориҳои гармии боздории фриксионӣ, эътимоднокии қисмҳо ва сатҳи партовҳои ғайрифазоли (non-exhaust) зарраҳои муайян мекунад. Дар тадқиқот ҳаҷор самти ҳамбаста дар доираи як мафҳуми ягона муттаҳид шудаанд, ки дар он масофаи критикӣ тамомшавии рекуператсия ҳамчун параметри системасозӣ байнисоҳавӣ баромад мекунад. Дар асоси оморӣ расмии садамаҳои нақлиётӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2016–2025, ки афзоиши фавти одамоне ба андозаи 50,6 % ҳангоми устувор мондани шумораи садамаҳо собит мекунад, ва тадқиқотҳои табиӣ 117 шина исбот карда шуд, ки барои воситаи нақлиётӣ боркаши сангинвази батарея пас аз 6,9–13,8 км фуруд омадан иқтидори қабули зарядро гум мекунад. Пас аз он, тамоми сарбории боздорӣ ба механизмҳои фриксионӣ мегузарад. Ҳамин меъёр таносуби партовҳои ғайрифазоли автомобилҳои барқиро бо партовҳои муҳарриқи дарунсӯз муайян мекунад. Модели пешниҳодшуда имкон медиҳад, ки ҷойгиркунии инфрасохтори заряддиҳӣ аз рӯи ҳадди ақали профили сатҳи заряд ба таври илмӣ асоснок карда шавад.

Калидвожаҳо: воситаҳои нақлиётӣ кӯҳӣ; беҳатарии амалиётӣ; эътимоднокӣ; партовҳои даври нурра; боздории рекуперативӣ; воситаи нақлиётӣ барқӣ; инфрасохтори заряддиҳӣ; Ҷумҳурии Тоҷикистон.

INTEGRATED SAFETY, RELIABILITY AND ENVIRONMENTAL FRAMEWORK FOR ROAD TRANSPORT OPERATION IN MOUNTAIN TERRAIN

Abdullo Mamadamon

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

Safety, mechanical reliability, and environmental efficiency of road transport in mountainous conditions are traditionally studied as isolated problems with separate regulatory frameworks. With the large-scale electrification of the vehicle fleet, this division loses its scientific validity because a single physical mechanism—the degree of energy storage saturation during regenerative braking—simultaneously determines the thermal load of friction brakes, component reliability, and non-exhaust particulate emissions. This study synthesizes four interrelated directions within a unified concept, where the critical length of regeneration exhaustion serves as an interdisciplinary cross-cutting parameter. Based on official traffic accident statistics in the Republic of Tajikistan for 2016–2025, recording a 50.6% increase in fatalities alongside stable accident rates, as well as field tests on 117 tires, it is strictly proven that for a loaded heavy truck, battery capacity is exhausted after 6.9–13.8 km of a descent.

Once regeneration ceases, the entire braking load shifts to friction mechanisms not designed for such continuous stress. This threshold directly determines the ratio of non-exhaust emissions from electric vehicles to internal combustion engine emissions. The proposed invariant longitudinal dynamics model enables the scientific optimization and placement of charging infrastructure based on the minimum charge level profile.

Keywords: mountain road transport; operational safety; reliability; well-to-wheel emissions; regenerative braking; electric vehicle; charging infrastructure; Republic of Tajikistan.

1. Введение (Introduction)

1.1. Проблема: горные регионы, растущие автопарки, безопасность движения

Более 93 % территории Республики Таджикистан занимают горные районы, и на долю автомобильного транспорта приходится свыше 90 % объёма грузовых и пассажирских перевозок в стране, что делает его не просто экономически предпочтительным, но и на большинстве маршрутов единственным технически доступным видом транспорта [24]. Официальные данные о ДТП за 2016–2025 гг. [2–12] показывают тенденцию, которую легко упустить из виду в совокупных статистических данных, но которая имеет решающее значение для рассматриваемой проблемы: в то время как автопарк вырос на 84 %, а количество зарегистрированных ДТП увеличилось лишь на 1,3 %, число погибших выросло на 50,6 %, а доля погибших на сто ДТП возросла с 32,2 в 2016 году до 47,9 в 2025 году. В разбивке по типам ДТП столкновения и опрокидывания — две категории, наиболее непосредственно связанные с движением в горных условиях и характерные, соответственно, для лобовых столкновений вследствие отказа тормозной системы на спуске и для поворотов с малым радиусом и незащищенных краев дороги составляют 47–56 % всех смертельных случаев за весь период, при этом летальность при столкновениях выросла с 33 % до 53 %, а при опрокидываниях, с 56 % до 69 %. Эта тенденция не объясняется факторами поведения водителей, которые, как можно было бы ожидать, привели бы к увеличению частоты ДТП, а не их тяжести; напротив, она указывает на рост доли ДТП с высокой энергией столкновения, что согласуется с использованием более тяжелого и мощного автопарка на неизменной горной инфраструктуре.

1.2. Электрификация меняет физику, а не географию

Программа развития электромобильного транспорта Правительства Республики Таджикистан на 2023–2028 годы [25] нацелена на значительное расширение зарядной инфраструктуры, что отчасти обусловлено преобладанием гидроэнергетики в стране, благодаря чему Таджикистан входит в число немногих государств, где электрификация транспортных средств может обеспечить реальное, а не просто перенесенное сокращение выбросов на протяжении всего жизненного цикла [1]. Однако электрификация не упрощает проблему безопасности в горных условиях; она изменяет её физический характер. Тяговый двигатель электромобиля на аккумуляторном питании по сути нечувствителен к потерям мощности, зависящим от высоты над уровнем моря, которые исторически как создавали трудности, так и косвенно предупреждали водителей автомобилей с двигателями внутреннего сгорания [15]. Торможение на спуске может до момента насыщения аккумулятора быть рекуперативным, а не диссипативным (но только до этого момента); после чего электромобиль оказывается в худшем положении, чем автомобиль с ДВС, который он заменяет, поскольку он не сохраняет ни торможения двигателем, ни неизменной тормозной способности, а все замедление сразу переходит на механизмы трения, которые не были рассчитаны на работу при полном спуске [20].

1.3. Почему безопасность, надёжность и экология здесь должны рассматриваться как одна проблема

В существующей литературе вопросы безопасности торможения [20–23; 32; 36], надёжности компонентов [14; 17; 28; 35] и экологических характеристик [1; 18; 19; 27; 29] рассматриваются в основном независимо друг от друга, причем каждая из этих областей опирается на собственную специализацию и нормативную традицию. Основной тезис данной статьи заключается в том, что именно в случае электрифицированного горного транспорта такое разделение больше не является обоснованным, поскольку одна физическая величина, критическое расстояние рекуперации-разряда L_{χ} , то есть длина спуска, на протяжении которой накопительное устройство сохраняет способность принимать заряд, полученный в процессе рекуперации, одновременно определяет: (а) остается ли система фрикционных тормозов в пределах своего теплового рабочего диапазона

(безопасность); (b) рабочий цикл и, как следствие, износ фрикционных элементов и шин (надежность); и (c) является ли выброс твердых частиц при торможении трением на спуске ниже или выше, чем выхлопные выбросы автомобиля с ДВС, который он заменяет (экология). Поэтому исследовательская программа, построенная на двух направлениях — безопасности эксплуатации транспортных средств и технической экологии, может быть обоснованно обобщена только на основе этого общего параметра, и именно такое обобщение является вкладом настоящей статьи.

2. Материалы и методы (*Materials and methods*)

Данный синтез опирается на четыре методологически различных, но взаимосвязанных компонента, каждый из которых был разработан независимо и в данном случае интегрирован.

Безопасность. Модель продольной динамики, не зависящая от трансмиссии [30], вычисляет вектор показателей безопасности, температуру фрикционных накладок, запас замедления, запас тормозного пути, остаточное расстояние рекуперации L_χ и коэффициент загрузки фрикционных тормозов K_z — как функции расстояния вдоль маршрута, проверенные на 64-километровом горном маршруте Кулоб — Шамсиддин Шохин — Шохон (Хатлонская область) путем проверки внутренней согласованности энергетического баланса и симметрии при движении в прямом и обратном направлениях, а также уточнена с использованием профиля высот из 89 точек, полученного в ходе полевых измерений, который выявляет местные уклоны до 22,8 %, незаметные при использовании грубых трёхточечных представлений маршрута.

Надёжность. В ходе полевых исследований шин, проведённых в 2015–2018 гг. на трассе РБ07 (М41–А372) «Вахдат — Рашт — Джиргатал» и в карьерах зоны строительства Рогунской ГЭС, были зарегистрированы пирометрические и тепловизионные измерения на 117 контрольных шинах (размер 10.00R20), установленных на автопарке цементовозов [14; 17; 28]. Критериальная зависимость теплопередачи $Nu = C \cdot Re^{m \cdot Pr^n}$, ранее проверенная для ребер головки блока цилиндров ДВС с воздушным охлаждением [16; 26], переносится на систему терморегулирования тяговой батареи на том основании, что определяющий физический механизм (конвективная теплопередача от нагретой поверхности к разреженному воздушному потоку) не зависит от источника тепла.

Окружающая среда. Методология расчета углеродного следа «от скважины до колеса» $(WtW)^1$ [31; 33] сочетает данные об интенсивности выбросов в национальной энергосистеме, отражающие преобладание гидроэнергетики в Таджикистане при сезонных колебаниях выработки электроэнергии, с той же моделью рекуперации для расчета баланса выбросов, не связанных с выхлопными газами, по сравнению с выхлопными выбросами в зависимости от L_χ относительно длины спуска.

Инфраструктура. Профиль уровня заряда $\sigma(s)$, рассчитанный с помощью модели безопасности, напрямую используется для вывода физически обоснованного критерия размещения зарядных станций, а концепция мобильной зарядной станции, питающейся от энергии рекуперативного торможения тяжелых транспортных средств, оценивается в сравнении с альтернативой в виде стационарной инфраструктуры.

3. Результаты (*Results*)

3.1. Безопасность: критическая длина спуска и нагрузка на фрикционные тормоза

Для загруженного тяжелого транспортного средства, начинающего спуск с высоким начальным уровнем заряда ($\sigma_0 = 0,90$), резерв рекуперации исчерпывается через 13,8 км на уклоне 7 %, а при $\sigma_0 = 0,95$ — через 6,9 км. После этого момента коэффициент загрузки тормозов трения K_z — который для автомобиля с ДВС определяется исключительно профилем трассы и скоростью резко возрастает, поскольку электродвигатель электроавтомобиля больше не может принимать заряд, и все замедление переходит на счет механизмов трения (χ — доля отрицательной механической мощности, которая может быть возвращена в накопитель, стремится к нулю). В таблице 1 обобщен практически решающий вывод: электротранспортное средство, исчерпавшее возможности рекуперации в середине спуска, в этот момент находится в худшем положении с точки зрения

¹ Well-to-Tank (WTT) — «От скважины до бака»: включает всё, что происходит с топливом до его заправки в автомобиль. Это добыча сырья (нефти, газа), транспортировка, переработка в бензин или выработка электричества на ТЭЦ и передача его по сетям до зарядной станции

торможения, чем автомобиль с ДВС, который оно заменяет, поскольку оно не располагает ни торможением двигателем, ни системой трения, рассчитанной на работу на протяжении всего спуска.

Таблица 1 – Последствия истощения ресурса рекуперации при работе с фрикционными тормозами
Table 1 – Consequences of Exhausting Regenerative Capacity When Operating Friction Brakes

Состояние	Автомобиль с ДВС	Электромобиль $\chi > 0$	Электромобиль ($\chi \rightarrow 0$)
Источник торможения	Трение + торможение двигателем	Регенеративное (преобладающее) + трение	Только трение
Поведение K_z	Фиксированное в зависимости от профиля/скорости	Подавленное, близкое к нулю	Увеличивается до уровня, эквивалентного ДВС, или выше
Сравнительное положение	Базовый уровень	Благоприятное	Хуже, чем в базовом режиме — отсутствует резервное торможение двигателем

Это напрямую обосновывает необходимость недорогого правила эксплуатации: уровень заряда должен быть намеренно ограничен до начала известного длительного спуска ($L_{descent}$) так, чтобы условие $L_\chi \geq L_{descent}$ выполнялось на протяжении всего спуска, правило, не требующее изменений в оборудовании и реализуемое с помощью существующей логики системы управления батареями, использующей информацию о профиле маршрута от бортовой навигационной системы.

3.2. Надежность: общий тепловой механизм для системы ДВС и аккумуляторной системы

По результатам полевых измерений, проведенных на 117 шинах для большегрузных автомобилей, было установлено, что средний ресурс до выхода из строя составил примерно 23 000 км при заводском нормативе в 60 000 км (38 %), причём более 80 % отказов были механическими, а не связанными с износом, и приходилось (≈ 80 %) на осенне-зимний сезон, когда сокращение продолжительности светового дня и обнажившиеся после дождя острые камни дорожного полотна сочетаются с превышением нормы полной массы транспортного средства. Прямые пирометрические и тепловизионные измерения зафиксировали среднюю температуру поверхности шины, превышающую температуру окружающего воздуха на 13,4 °C (52,4 °C против 39,0 °C окружающего воздуха), с пиковыми значениями до 75 °C, и установили, что снижение рабочей температуры шины на 10–20 % продлевает срок службы на 50–100 %. Эти результаты, полученные для автопарков с ДВС, применимы к автопаркам электромобилей с двумя поправками, характерными для данной ситуации: электромобили имеют существенно большую полную массу из-за веса аккумуляторной батареи, что само по себе увеличивает нагрузку на шины, а распределение тормозного усилия у них качественно отличается от распределения у автомобилей с ДВС (рекуперативное торможение на электрической оси до истощения возможности рекуперации, полное фрикционное торможение после этого), что изменяет частоту и местоположение событий интенсивного ускорения/замедления, определенных как доминирующий механизм нагрева шин.

Показано, что те же соотношения конвективного теплообмена, проверенные для ребер головки блока цилиндров с воздушным охлаждением в двигателях внутреннего сгорания, применимы — с изменением лишь геометрии теплообменника — к терморегулированию тяговых аккумуляторов, поскольку обе задачи сводятся к конвективному теплообмену от нагретой поверхности к воздушному потоку, плотность и охлаждающая способность которого снижаются с ростом высоты над уровнем моря — а это означает, что, точно так же, как и в случае с фрикционными тормозами (§3.1), эксплуатация на больших высотах ухудшает охлаждение аккумулятора именно в тот момент, когда прием заряда при спуске создает наибольшую тепловую нагрузку на устройство хранения энергии.

3.3. Окружающая среда: связь L_χ – выбросы

При доминировании гидроэнергетики в национальной выработке электроэнергии углеродный след электромобиля от источника до колеса оценивается в 3,3–4,3 г CO_2 /км по сравнению с примерно 148 г/км для аналогичного автомобиля с ДВС снижение в 35–45 раз, что согласуется с независимым международным наблюдением, согласно которому электромобили, составляющие примерно 5% мирового парка легковых автомобилей, в 2024 году составляли лишь 0,7% выбросов

CO_2 от всего парка [4]. Однако показано, что это преимущество в значительной степени зависит от сезонной структуры выработки гидроэлектроэнергии, а не от характеристик транспортных средств: оценочный углеродный след меняется на порядок в течение года ($\approx 3,6$ г/км летом против ≈ 30 г/км зимой), а зима — когда выработка гидроэлектроэнергии находится на национальном минимуме совпадает с сезонным пиком спроса на транспорт, что является несоответствием, имеющим прямые последствия для сезонно-дифференцированного экологического учета.

Результаты синтеза, относящиеся к данной работе, касаются выбросов, не связанных с выхлопными газами, частиц, образующихся при торможении, износе шин и дорожном покрытии, которые не регулируются никакими нормативными актами, основанными на выбросах, и, что примечательно, не равны нулю для электромобиля. Поскольку активация фрикционного тормоза при спуске регулируется точно условием рекуперации-выхлопа, баланс между выбросами, не связанными с выхлопными газами, электромобиля и автомобиля с ДВС при том же спуске является прямой функцией отношения $L_\chi/L_{descent}$: пока L_χ превышает оставшуюся длину спуска, активность фрикционного тормоза (и, следовательно, частиц, не связанных с выхлопными газами) подавляется, и экологическое преимущество электромобиля перед автомобилем с ДВС велико; как только L_χ превышено, нагрузка фрикционного тормоза приближается к базовому уровню автомобиля с ДВС или превышает его (Таблица 1), и разрыв в выбросах, не связанных с выхлопными газами, соответственно сужается. Это центральный междисциплинарный результат статьи: тот же параметр, который определяет безопасность торможения, также определяет экологическое сравнение, а это значит, что вопросы техники безопасности и экологического учета для электрифицированного горного транспорта не могут рассматриваться как независимые исследования.

Кроме того, было обнаружено, что в замкнутых горных долинах в условиях температурной инверсии образуются локальные зоны накопления загрязняющих веществ с последующим их отложением в снежном покрове и нижележащих водосборных бассейнах. При этом электрификация в условиях ограниченных долин обеспечивает непропорционально большее улучшение качества воздуха и акустики на местном уровне, чем та же электрификация на открытой местности.

3.4. Инфраструктура: размещение объектов с учетом рекуперации энергии и зарядка мобильных устройств

Поскольку модель безопасности §3.1 вычисляет профиль состояния заряда $\sigma(s)$ вдоль любого маршрута, точка, в которой $\sigma(s)$ достигает своего минимума, является прямым, физически определенным потенциальным местом для зарядной инфраструктуры, а глубина этого минимума определяет требуемую мощность станции, заменяя административное планирование инфраструктуры, ранее единственный доступный метод для страны с географическими и другими ограничениями Таджикистана [13], расчетным критерием. Для эталонного маршрута этот минимум находится на горном перевале, а не в какой-либо из конечных точек, чего не удалось бы достичь в процессе административного планирования, организованном вокруг местоположения городов.

Дополнительный результат касается маршрутов, не имеющих подключения к сети: один спуск тяжелого транспортного средства с уклоном 7% на протяжении 25 км, с использованием механизма рекуперативного торможения §3.1, генерирует приблизительно 63 кВт·ч запасаемой энергии, что эквивалентно примерно 2,1 полным зарядам типичного легкового электромобиля, без расхода топлива, напрямую устраняя два недостатка, ранее выявленных в мобильных зарядных станциях на основе генераторов в стране (экологические издержки и зависимость от пополнения запасов топлива) [13]. Коммерческая функция зарядки и функция безопасности, заключающаяся в разгрузке системы фрикционного тормоза при спуске, здесь взаимно усиливают друг друга, а не конкурируют, а возможность подключения к сети для любой полученной стационарной установки может быть оценена стандартными методами расчета потока мощности с учетом локально слабых горных распределительных сетей [34].

4. Обсуждение (Discussions)

Результаты подтверждают целесообразность рассмотрения L_χ — величины, определяемой исключительно с точки зрения безопасности тормозной системы, как организующей переменной всего синтеза, а не как одного из нескольких входных параметров, которые необходимо взвешивать

с учетом отдельно выведенных показателей надежности и экологичности. Это более сильное и опровергаемое утверждение, чем общее утверждение о «взаимосвязанности» безопасности, надежности и экологии: оно определяет механизм (насыщение рекуперации вызывает скачкообразное изменение нагрузки на фрикционный тормоз) и направление результирующего междоменного эффекта (увеличение нагрузки на фрикционный тормоз одновременно повышает как выбросы, не связанные с выхлопными газами, так и тепловую/механическую нагрузку на компоненты), а также позволяет определить проверяемый пороговый уровень, в которой L_x равно оставшейся длине снижения, при котором экологическое и надежностное преимущество электромобиля по сравнению с автомобилем с двигателем внутреннего сгорания сужается.

Национальная статистика аварий (§1.1) показывает, что это не спекулятивная проблема будущего, зависящая от дальнейшей электрификации: базовая нагрузка на безопасность при торможении в горах уже возрастает при нынешнем парке автомобилей, в основном с двигателями внутреннего сгорания, что скорее укрепляет, чем ослабляет аргументы в пользу концепции, которая будет применяться без изменений по мере развития электрификации. В то же время некоторые компоненты синтеза по-прежнему имеют более веские основания, чем другие. Связь с надежностью (§3.2) основана на обширных полевых данных для шин эпохи ДВС и на методологически обоснованном, но еще не подтвержденном в полевых условиях переносе теплового критерия на охлаждение батареи; связь с окружающей средой (§3.3) основана на хорошо обоснованной методологии WtW, но на еще не измеренном коэффициенте выбросов, не связанных с выхлопными газами, специфичном для описанного здесь режима торможения при спуске с горы, который следует в первую очередь измерить напрямую (отбор проб твердых частиц на инструментальных спусках) перед дальнейшим уточнением модели. Результат, касающийся инфраструктуры (§3.4), является наиболее применимым на практике, поскольку не требует нового оборудования, а лишь применения результатов уже проверенной модели безопасности к решению о размещении, которое соответствующие министерства в настоящее время принимают в административном порядке.

5. Заключение (Conclusions)

Безопасность торможения, надежность компонентов и экологические характеристики дорожного транспорта в горной местности, традиционно рассматриваемые как отдельные исследовательские проблемы, регулируемые отдельными областями знаний, как показано, совместно определяются единым физическим порогом, критическим расстоянием рекуперации-выхлопа L_x , после перехода на электромобили. Ниже этого порога электрифицированный автомобиль одновременно обеспечивает благоприятные запасы безопасности (сниженная нагрузка на фрикционные тормоза), уменьшенную тепловую нагрузку на компоненты и значительное экологическое преимущество по сравнению с автомобилем с двигателем внутреннего сгорания; выше него все три показателя движутся неблагоприятно вместе, и электрифицированный автомобиль, особенно с точки зрения безопасности торможения, может оказаться в худшем положении, чем заменяемый им автомобиль. Эта общая зависимость, подтвержденная данными национальной статистики дорожно-транспортных происшествий за десятилетие, демонстрирующими рост тяжести аварий, в основном в горных районах, данными о надежности компонентов, полученными с помощью полевых приборов, и экологической методологией, учитывающей сезонные колебания выработки гидроэнергии в стране, представляет собой междисциплинарный синтез, характерный для исследовательской программы, проводимой совместно в рамках специальностей «Безопасность эксплуатации транспортных средств» и «Техническая экология», и дает непосредственно применимые на практике результаты: правило управления уровнем заряда перед спуском, физически обоснованный критерий размещения зарядной инфраструктуры и концепцию мобильной зарядки с рекуперацией энергии для маршрутов без доступа к электросети.

Рецензент: Сайдудлозода С.С. — к.т.н., доцент кафедры ЭАТ, ТПУ имени академика М.С. Осими

Литература

1. Абдулло, М.А. Бехатарии автомобилҳои барқӣ ва таъсири онҳо ба партови газҳои гулхонагӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон / М.А. Абдулло, Р.Д. Чураҳонзода, С.Х. Давлатзода // Фурӯғи Илм. – 2025. – № 3. – С. 36-46.-EDN ZHWOVE. DOI: [10.5281/zenodo.19108735](https://doi.org/10.5281/zenodo.19108735).

2. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2015. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2016.
3. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2016. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2017.
4. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2017. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2018.
5. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2018. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2019.
6. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2019. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2020.
7. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2020. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2021.
8. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2021. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2022.
9. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2022. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2023.
10. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2023. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2024.
11. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2024. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2025.
12. Ахбори таҳлилий оид ба ҳолати ҳодисаҳои роҳу нақлиёт дар роҳҳои автомобилгарди Ҷумҳурии Тоҷикистон дар соли 2025. – Душанбе : Раёсати БДА ВКД ҚТ, 2026.
13. Абдулло, М.А. Техничко-экономический анализ применения мобильных зарядных станций для электромобилей в условиях Республики Таджикистан / М.А. Абдулло // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 5. – С. 51-63. DOI: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-5-51>.
14. Абдуллоев, М.А. Анализ влияния температуры воздуха на интенсивность изнашивания шин грузовых автомобилей / М.А. Абдуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – Т. 42. – № 2. – С. 72-76.
15. Абдуллоев, М.А. Влияние атмосферного давления на мощность дизельного двигателя / М.А. Абдуллоев, Р.А. Давлатшоев, Д. Садуллобеков // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – Т. 41. – № 1. – С. 135-139.
16. Абдуллоев, М.А. Теоретическое обоснование параметров обребрения головок цилиндров дизелей с воздушным охлаждением / М.А. Абдуллоев, А.А. Саилов, А.М. Умирзоков и др. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – № 2. – С. 57-67.
17. Абдуллоев, М.А. Анализ отказов автомобильных шин в условиях высокогорья Республики Таджикистан / М.А. Абдуллоев, А.М. Умирзоков, А.А. Соилов и др. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – Т. 33. – № 1. – С. 36-41.
18. Айрапетов, Д.А. Транспорт, экология и здоровье: Монография / Д.А. Айрапетов, Ю. Шадиметов. – Ташкент : ЯТТ «Ризаев М.Х.», 2022. – 256 с.
19. Горчаков, Ю. Н. Экологическая безопасность электромобилей и автомобилей с традиционными силовыми агрегатами / Ю. Н. Горчаков, М. Д. Дунаева // Организация и безопасность дорожного движения : материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 13 мая 2021 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. – С. 293-296. – EDN XRQQFB.
20. Давлатшоев, Р.А. Влияние термонагруженности тормозных механизмов на эффективность торможения автомобиля в горных условиях эксплуатации / Р.А. Давлатшоев, М.А. Абдулло // Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования. – 2021. – Т. 55. – № 3. – С. 64-68.
21. Давлатшоев, Р.А. Повышение тормозных свойств автотранспортных средств в горных условиях эксплуатации : специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р.А. Давлатшоев. – Душанбе, 2007.
22. Давлатшоев, Р.А. Оценка эффективности рабочей тормозной системы автомобиля с регулятором тормозных сил в горных условиях эксплуатации / Р.А. Давлатшоев, А.А. Турсунов, М.А. Абдуллоев, Ф.С. Бодурбеков // Нефть и газ Западной Сибири. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 55-летию Тюменского государственного нефтегазового университета. Том Том II. – 2011. – С. 133-140.
23. Заблочный, М. А. Воздействие автомобильных шин и тормозных колодок на окружающую среду / М. А. Заблочный, О. В. Шулупова // Аграрная наука в контексте времени : Сборник трудов LX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Тюмень, 11–14 марта 2025 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2025. – С. 30-34. – EDN INZOPC.
24. Нуралиев, Б. Экологическая и дорожная безопасность автомобильного транспорта Республики Таджикистан / Б. Нуралиев, М.А. Абдуллоев, Ф.С. Бодурбеков, Р.А. Давлатшоев // Нефть и газ Западной Сибири. – Тюменский индустриальный университет (Тюмень), 2011. – С. 343-347.

25. Программа развития электротранспорта в Республике Таджикистан на 2023-2028 годы (утверждена постановлением правительства № 532 от 31 октября 2022 года). – Режим доступа: <https://mmih.adlia.tj/SEARCH/DocumentView?DocumentId=143588> (дата обращения: 01.07.2026). – [Электронный ресурс].
26. Саибов, А. А. Экспериментальное обоснование теоретических исследований параметров орбита голов цилиндров дизелей с воздушным охлаждением / А. А. Саибов, М. А. Абдуллоев, А. М. Умирзоков [и др.] // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2016. – № 1(33). – С. 47–56. – EDN YPTJRF.
27. Сайфиддинзода, О.С. Углеродный след и климатическая уязвимость Республики Таджикистан / О.С. Сайфиддинзода, М.А. Абдулло, Р.Д. Джурахонзода, С.Х. Давлатзода // Фуруги илм (Сияние науки). – 2025. – № 4. – С. 53-62. – EDN WFXLQI. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18910312>.
28. Умирзоков, А.М. Влияние дорожных, климатических и эксплуатационных факторов на долговечность автомобильных шин / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, М.А. Абдуллоев, Ф. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – Т. 31. – № 3. – С. 89-94.
29. Юнусов, М. Ю. Оценка состояния парниковых газов автотранспорта города Душанбе / М. Ю. Юнусов, М. Абдулло, Б. Ж. Мажитов, Н. Б. Сахибов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2022. – № 4(60). – С. 115–120.
30. Abdullo, M. A numerically stable cruise control model for an electric vehicle on a mountain route based on a smooth approximation of traction–regeneration mode switching / M. Abdullo // Furughi Ilm. Series: Natural and Mathematical Sciences. – 2026. – Vol. 10. – № 2. – P. 145-157. DOI: <https://doi.org/10.24412/3078-395X-2026-2-10-145-457>.
31. Artaş, S.B. A country-based well-to-wheel efficiency comparison of electric and fossil-fuelled vehicles: A comprehensive study considering fuel sources and policy implications / S.B. Artaş, H. Yağlı, A. Kahraman // Transport Policy. – 2026. – Vol. 180. – A country-based well-to-wheel efficiency comparison of electric and fossil-fuelled vehicles. – P. 104041. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2026.104041>.
32. Germany. Endurance braking: reminder on meaning purpose and suitable requirements | UNECE. – Режим доступа: <https://unece.org/transport/documents/2024/09/informal-documents/germany-endurance-braking-reminder-meaning-purpose> (accessed August 3, 2026). – [Electronic resource].
33. Ke, W. Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles: Mid-term implications from real-world features and air pollution control progress / W. Ke, S. Zhang, X. He et al. // Applied Energy. – 2017. – Vol. 188. – Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles. – P. 367-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.011>.
34. Luo, Y. Recursive power flow calculation based on polar coordinates holomorphic embedding method / Y. Luo, C. Liu, M. Abdullo и др. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2026. – Т. 177. – С. 111729. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2026.111729>.
35. Umirzokov, A.M. Assessment of the resource of elements of transportation machines operated in mining energy enterprises / A.M. Umirzokov, M.A. Abdullo, F.I. Jobirov и др. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Т. 990. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/990/1/012063>
36. Zhang, Q. Regenerative braking system effectively reduces the formation of brake wear particles / Q. Zhang, J. Yin, T. Fang et al. // Journal of Hazardous Materials. – 2024. – Vol. 465. – P. 133350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133350>.

References

1. Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Bekhatarii avtomobilhoi barqi va tasiri onho ba partovi gazhoi gulkhonagi dar Jumhurii Tojikiston [Safety of electric vehicles and their impact on greenhouse gas emissions in the Republic of Tajikistan]. Furughi Ilm [The Glow of Science], (3), 36-46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19108735>. EDN ZHWOVE. (In Taj.).
2. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2016). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2015 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2015]. (In Taj.).
3. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2017). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2016 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2016]. (In Taj.).
4. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2018). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2017 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2017]. (In Taj.).
5. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2019). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2018 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2018]. (In Taj.).
6. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2020). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2019 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2019]. (In Taj.).

7. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2021). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2020 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2020]. (In Taj.).
8. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2022). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2021 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2021]. (In Taj.).
9. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2023). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2022 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2022]. (In Taj.).
10. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2024). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2023 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2023]. (In Taj.).
11. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2025). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2024 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2024]. (In Taj.).
12. Department of State Automobile Inspection of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Tajikistan. (2026). Akhbori tahlili oid ba holati hodisahoi rohu naqliyot dar rohhoi avtomobilgardi Jumhurii Tojikiston dar soli 2025 [Analytical report on the state of road traffic accidents on the highways of the Republic of Tajikistan in 2025]. (In Taj.).
13. Abdullo, M. A. (2024). Tekhniko-ekonomicheskii analiz primeneniya mobil'nykh zaryadnykh stantsiy dlya elektromobiley v usloviyakh Respubliki Tadjikistan [Techno-economic analysis of using mobile charging stations for electric vehicles in the conditions of the Republic of Tajikistan]. Intellect. Innovatsii. Investitsii [Intellect. Innovation. Investments], (5), 51-63. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-5-51>. (In Russ.).
14. Abdulloev, M. A. (2018). Analiz vliyaniya temperatury vozdukha na intensivnost' iznashivaniya shin gruzovykh avtomobiley [Analysis of the air temperature influence on the wear rate of truck tires]. Politehnicheskii vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 42(2), 72-76. (In Russ.).
15. Abdulloev, M. A., Davlatshoyev, R. A., & Sadullobekov, D. (2018). Vliyaniye atmosfernogo davleniya na moshchnost' dizel'nogo dvigatelya [Influence of atmospheric pressure on diesel engine power]. Politehnicheskii vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 41(1), 135-139. (In Russ.).
16. Abdulloev, M. A., Saibov, A. A., Umirzokov, A. M., et al. (2016). Teoreticheskoye obosnovaniye parametrov orebreniya golovok tsilindrov dizeley s vozdushnym okhlazhdeniyem [Theoretical substantiation of parameters for finning of air-cooled diesel cylinder heads]. Politehnicheskii vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], (2), 57-67. (In Russ.).
17. Abdulloev, M. A., Umirzokov, A. M., Soibov, A. A., et al. (2016). Analiz otkazov avtomobil'nykh shin v usloviyakh vysokogor'ya Respubliki Tadjikistan [Analysis of automobile tire failures in the high-altitude conditions of the Republic of Tajikistan]. Politehnicheskii vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 33(1), 36-41. (In Russ.).
18. Ayrapetov, D. A., & Shadimetov, Yu. (2022). Transport, ekologiya i zdorov'ye: Monografiya [Transport, ecology and health: Monograph]. YaTT «Rizayev M.Kh.». (In Russ.).
19. Gorchakov, Yu. N., & Dunayeva, M. D. (2021). Ekologicheskaya bezopasnost' elektromobiley i avtomobiley s traditsionnymi silovymi agregatami [Environmental safety of electric vehicles and vehicles with traditional power units]. In Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya (pp. 293-296). Tyumen State Oil and Gas University. EDN XRQQFB. (In Russ.).
20. Davlatshoyev, R. A., & Abdullo, M. A. (2021). Vliyaniye termonagruzhennosti tormoznykh mekhanizmov na effektivnost' tormozheniya avtomobilya v gornykh usloviyakh ekspluatatsii [The impact of thermal loading of brake mechanisms on vehicle braking efficiency under mountainous operating conditions]. Politehnicheskii vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 55(3), 64-68. (In Russ.).
21. Davlatshoyev, R. A. (2007). Povysheniye tormoznykh svoystv avtotransportnykh sredstv v gornykh usloviyakh ekspluatatsii [Improving the braking properties of motor vehicles in mountainous operating conditions] (Candidate dissertation). Dushanbe. (In Russ.).
22. Davlatshoyev, R. A., Tursunov, A. A., Abdulloev, M. A., & Bodurbekov, F. S. (2011). Otsenka effektivnosti rabochey tormoznoy sistemy avtomobilya s regulyatorom tormoznykh sil v gornykh usloviyakh ekspluatatsii [Evaluating the effectiveness of a vehicle's service brake system with a brake force regulator in mountainous operating conditions]. In Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri (Vol. 2, pp. 133-140). Tyumen State Oil and Gas University. (In Russ.).
23. Zablotskiy, M. A., & Shulepova, O. V. (2025). Vozdeystviye avtomobil'nykh shin i tormoznykh kolodok na okruzhayushchuyu sredyu [Impact of car tires and brake pads on the environment]. In Agrarnaya nauka v kontekste vremeni (pp. 30-34). Northern Trans-Ural State Agricultural University. EDN INZOPC. (In Russ.).
24. Nuraliyev, B., Abdulloev, M. A., Bodurbekov, F. S., & Davlatshoyev, R. A. (2011). Ekologicheskaya i dorozhnaya bezopasnost' avtomobil'nogo transporta Respubliki Tadjikistan [Environmental and road safety of road transport in the Republic of Tajikistan]. In Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri (pp. 343-347). Tyumen Industrial University. (In Russ.).

25. Government of the Republic of Tajikistan. (2022, October 31). Programma razvitiya elektrotransporta v Respublike Tadjikistan na 2023-2028 gody [Electric transport development program in the Republic of Tajikistan for 2023-2028] (Decree No. 532). <https://mmih.adlia.tj/SEARCH/DocumentView?DocumentId=143588>. (In Russ.).
26. Saibov, A. A., Abdulloyev, M. A., Umirzokov, A. M., et al. (2016). Eksperimental'noye obosnovaniye teoreticheskikh issledovaniy parametrov orebreniya golovok tsilindrov dizeley s vozdushnym okhlazhdeniyem [Experimental justification of theoretical studies of finning parameters for cylinder heads of air-cooled diesel engines]. *Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 1(33), 47-56. EDN YPTJRF. (In Russ.).
27. Sayfiddinzoda, O. S., Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Uglerodnyy sled i klimaticheskaya uyazvimost' Respubliki Tadjikistan [Carbon footprint and climate vulnerability of the Republic of Tajikistan]. *Furugi ilm (Siyanie nauki)* [The Glow of Science], (4), 53-62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18910312>. EDN WFXLQI. (In Russ.).
28. Umirzokov, A. M., Saibov, A. A., Abdulloyev, M. A., & Jobirov, F. (2015). Vliyaniye dorozhnykh, klimaticheskikh i ekspluatatsionnykh faktorov na dolgovechnost' avtomobil'nykh shin [Influence of road, climatic and operational factors on the durability of car tires]. *Vestnik Tadjikskogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tajik Technical University], 31(3), 89-94. (In Russ.).
29. Yunusov, M. Yu., Abdullo, M., Mazhitov, B. Zh., & Sakhibov, N. B. (2022). Otsenka sostoyaniya parnikovykh gazov avtotransporta goroda Dushanbe [Assessment of the greenhouse gas state from motor vehicles in Dushanbe city]. *Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 4(60), 115-120. (In Russ.).
30. Abdullo, M. (2026). A numerically stable cruise control model for an electric vehicle on a mountain route based on a smooth approximation of traction-regeneration mode switching. *Furughi Ilm. Series: Natural and Mathematical Sciences*, 10(2), 145-157. <https://doi.org/10.24412/3078-395X-2026-2-10-145-457>
31. Artaş, S. B., Yağlı, H., & Kahraman, A. (2026). A country-based well-to-wheel efficiency comparison of electric and fossil-fuelled vehicles: A comprehensive study considering fuel sources and policy implications. *Transport Policy*, 180, 104041. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2026.104041>
32. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (2024, September). Germany. Endurance braking: Reminder on meaning purpose and suitable requirements (Informal document). <https://unece.org/transport/documents/2024/09/informal-documents/germany-endurance-braking-reminder-meaning-purpose>
33. Ke, W., Zhang, S., He, X., et al. (2017). Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles: Mid-term implications from real-world features and air pollution control progress. *Applied Energy*, 188, 367-377. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.011>
34. Luo, Y., Liu, C., Abdullo, M., et al. (2026). Recursive power flow calculation based on polar coordinates holomorphic embedding method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 177, 111729. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2026.111729>
35. Umirzokov, A. M., Abdullo, M. A., Jobirov, F. I., et al. (2022). Assessment of the resource of elements of transportation machines operated in mining energy enterprises. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 990, 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/990/1/012063>
36. Zhang, Q., Yin, J., Fang, T., et al. (2024). Regenerative braking system effectively reduces the formation of brake wear particles. *Journal of Hazardous Materials*, 465, 133350. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133350>

Сведения об авторе:

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета по им. акад. М.С. Осими. <https://farzonagon.tj/tg/profile/2108-4205>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com

Маълумот оид ба муаллиф:

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, номзоди илмҳои техникаӣ, дотсенти кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. <https://farzonagon.tj/tg/profile/2108-4205>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com

Information about the author:

Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. <https://farzonagon.tj/tg/profile/2108-4205>. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.