

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-3-246-256>

УДК 656.96

Эффективность использования электромобилей

Докт. техн. наук, доц. С. В. Харитончик¹⁾,
чл.-кор. НАН Беларуси, докт. экон. наук, проф. Р. Б. Ивуть¹⁾,
канд. техн. наук, доц. Скиркоукий С. В.¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

Реферат. В последние годы появилось много публикаций по эффективности использования электрического транспорта, включая легковые автомобили, электробусы, троллейбусы, трамваи, а также грузовые автомобили. Одновременно проводится сравнительный анализ экономических факторов, влияющих на развитие данного вида транспорта. В системе статистической отчетности имеются отчеты по Министерству транспорта и коммуникаций (форма 1 электро, 12-тр электро, 12-тр авто). Большинство научных изданий доказывает эффективность электромобилей с запасом хода до 10 тыс. км пробега, имеющих идеальную экологию и большие преимущества перед другими видами транспорта в части технической эксплуатации и сервисного обслуживания. Однако высказываются и другие мнения, в которых излагаются и негативные моменты, связанные с эксплуатацией данной техники. Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа по эффективности использования электро- и бензиновых автомобилей. Задачи, решаемые в данной статье: исследовать теоретические особенности и разработать практические рекомендации по эксплуатации новых электромобилей и сравнить их расходы с бензиновыми автомобилями. В ходе исследования были использованы методы сравнительного анализа, статистической обработки данных и экономического моделирования. Результаты показали, что при определенных условиях использование электромобилей может быть экономически выгодным, особенно в крупных городах с высокой интенсивностью движения. Основные выводы исследования подтверждают перспективность развития электрического транспорта при условии совершенствования инфраструктуры и снижения стоимости аккумуляторных батарей. Предложенные практические рекомендации могут быть использованы при планировании развития городского транспорта и формировании транспортной политики.

Ключевые слова: электромобили, эффективность, сравнительный анализ, эксплуатационные расходы, экологичность, транспортная политика

Для цитирования: Харитончик С. В. Эффективность использования электромобилей / С. В. Харитончик, Р. Б. Ивуть, С. В. Скиркоукий // *Наука и техника*. 2025. Т. 24, № 3. С. 246–256. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-3-246-256>

Efficiency of Using Electric Vehicles

S. V. Kharytonchyk¹⁾, R. B. Ivut¹⁾, S. V. Skirkouski¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. In recent years, many publications have appeared on the efficiency of using electric transport, including passenger cars, electric buses, trolleybuses, trams, and trucks. At the same time, a comparative analysis of the economic factors influencing the development of this type of transport is carried out. The statistical reporting system contains reports on the Ministry of Transport and Communications (Form 1 electro, 12-tr electro, 12-tr auto). Most scientific publications prove the efficiency

Адрес для переписки

Ивуть Роман Болеславович
Белорусский национальный технический университет
ул. Я. Коласа, 12,
220013, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 292-75-31
eut_atf@bntu.by

Address for correspondence

Ivut Roman B.
Belarusian National Technical University
12 Ya. Kolasa str.,
220013, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 292-75-31
eut_atf@bntu.by

of electric vehicles with a range of up to 10 thousand km, ideal ecology and great advantages over other types of transport in terms of technical operation and maintenance. However, there are other opinions that outline the negative aspects associated with the operation of this technology. The purpose of this study is to conduct a comparative analysis of the efficiency of using electric and gasoline cars. The tasks to be solved in this article are to investigate the theoretical features and develop practical recommendations for the operation of new electric vehicles and compare their costs with gasoline cars. The research used methods of comparative analysis, statistical data processing and economic modeling. The results showed that under certain conditions, the use of electric vehicles can be economically beneficial, especially in large cities with high traffic. The main conclusions of the study confirm the prospects for the development of electric transport, provided that the infrastructure is improved and the cost of batteries is reduced. The proposed practical recommendations can be used in planning urban transport development and shaping transport policy.

Keywords: electric vehicles, efficiency, comparative analysis, operating costs, environmental friendliness, transport policy.

For citation: Kharytonchik S. V., Ivut R. B., Skirkouski S. V. Efficiency of Using Electric Vehicles // *Science and Technique*. 24 (3), 246–256. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-3-246-256> (in Russian)

Введение

В современных условиях происходят глобальное загрязнение окружающей среды и истощение мировых природных ресурсов. Данная проблема влияет на устойчивое развитие всех стран. Поэтому до 2030 г. разработаны цели и задачи по сбалансированности трех важнейших компонентов, обеспечивающих экономический рост, социальную стабильность и экологическое равновесие в мире. Решение данной проблемы возможно при соблюдении требований экологической безопасности автотранспортных средств. Это особенно важно для Республики Беларусь, так как в последние годы не произошло серьезных изменений в выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух. В течение 2016–2023 гг. они не уменьшились, а наоборот, увеличились с 896 до 898 тыс. т. [1]. Однако данная тенденция не характерна для мобильных источников, включая автотранспорт. Так, в этом сегменте выбросы загрязняющих веществ за вышеуказанный период в Беларуси сократились с 443 до 408 тыс. т.

Развитие мирового рынка продаж автомобилей свидетельствует о сокращении производства дизельных и бензиновых автомобилей и росте производства электромобилей. В последние годы происходит реорганизация транспортного сектора экономик различных стран, включая широкомасштабное внедрение электромобилей различных типов и видов, производство которых осуществляется особенно в Европе и США. Подобная тенденция наблюдается и в РФ, где в 2021 г. принята Концепция по развитию производства и использования электротранспорта на период до 2030 г., согласно которой будет создана разветвленная инфра-

структура заправочных станций. Для увеличения продаж вышеуказанных автомобилей продолжают вводиться различные стимулирующие скидки, субсидии и т. п. На начало 2024 г. в РФ приходилось более 10 электромобилей на одну публичную заправку.

Таким образом, важнейшим фактором снижения выбросов является широкое использование электромобилей, главными преимуществами которых являются экономичность и экологичность. Данный вид техники имеет целый ряд преимуществ перед другими автомобилями, вследствие чего растут их продажи, в ценовом сегменте они ежегодно становятся более доступными для приобретения. Данная тенденция приводит к большому количеству эксплуатируемых на дорогах различных стран электромобилей (EV), на номерных знаках которых содержатся зеленые прямоугольники.

Основная часть

Исследования свидетельствуют о том, что со стороны как различных мировых организаций, местных органов управления, так и населения растет интерес к покупке и эксплуатации электромобилей. В некоторых странах созданы благоприятные условия для широкого использования за счет различных эффективных экономических рычагов воздействия на транспортный рынок. Следует отметить, что данные рычаги широко используются и производителями автомобильной техники. Например, правительство Канады планирует в 2026 г. продавать около 20 % новых электрических автомобилей, к 2030 г. эта цифра увеличится до 60 %, а в 2035 г. все продаваемые автомобили будут электрическими. Для стимулирования про-

даж электромобилей установлена федеральная льгота, равная 5 тыс. дол., а также другие преференции, которые определены и приняты в различных провинциях Канады для снижения первоначальной цены на новый электромобиль. В то же время руководство одной из южнокорейских компаний пришло к выводу, что в современных условиях производство электромобилей обходится дороже, чем выпуск аналогичных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Поэтому данный фактор повлиял на установление высоких цен и сдерживание роста рынка продаж вышеуказанных автомобилей.

Анализ отечественной и зарубежной литературы, а также различные опросы свидетельствуют о том, что существуют различные мнения по вопросам определения эффективности использования электрических автомобилей. Иногда высказываются резко противоположные мнения даже по однотипным электромобилям, но эксплуатируемым, например, в Европе и США, Японии и Китае и т. д. Чтобы ответить на такой сложный вопрос, следует проанализировать все факторы, влияющие на эксплуатацию различных автомобилей, и сравнить затраты, например, электромобиля и традиционного автомобиля с ДВС, электромобиля и гибридного и т. п. [2].

В первую очередь, на общие расходы влияет цена автомобиля. Как показывают последние исследования, электромобили имеют более высокую первоначальную цену по сравнению с бензиновыми автомобилями. Она обусловлена устанавливаемыми дорогами аккумулятора. Вместе с тем у многих европейских автопроизводителей цены равны или даже ниже на электромобили по сравнению с бензиновыми и дизельными автомобилями. Анализ показывает, что покупная цена новых электрических автомобилей колеблется в широком диапазоне даже для однотипных моделей в зависимости от странового сегмента, модели, типа и других факторов. Это связано с тем, что, как отмечалось выше, во многих странах при покупке электромобилей установлены различные стимулы и скидки, позволяющие уменьшить их первоначальную стоимость. Характерен пример США, где при стоимости автомобиля 40 тыс. дол. можно получить налоговый кредит до 7,5 тыс. дол., а также различные государ-

ственные и местные льготы, позволяющие приобрести электромобиль по цене в 25 тыс. дол. Но такая же первоначальная цена подобных моделей во многих странах мира установлена и для бензиновых автомобилей, при приобретении которых не предусмотрены подобные скидки и льготы.

Происходящие в последние годы мировые тренды на энергоносители и топливо изменяют экономическую ситуацию, что влечет за собой и изменение конкурентоспособности продаваемых автомобилей [3]. Поэтому вторым фактором, влияющим на затраты, связанные с эксплуатацией автомобилей, работающих на различных видах топливно-энергетических ресурсах, является стоимость топлива. Ее величина также зависит от множества факторов и колеблется в широком диапазоне – от 20 до 50 % от общих затрат. Здесь необходимо учитывать условия эксплуатации автомобилей по регионам мира, срок эксплуатации, тарифы и цены на электроэнергию и другие виды топлива и т. д.

Для того чтобы ответить на вопрос о целесообразности использования электромобилей, необходимо провести анализ основных его параметров, таких как тип кузова, скоростные характеристики, мощность двигателя, расход топлива на 100 км пробега, запас хода на одной зарядке, время зарядки, разгон до 100 км/ч и других, влияющих как на первоначальную стоимость, так и на эксплуатационные затраты.

По данным Международного энергетического агентства (IEA), на начало 2024 г. удельный вес электромобилей в общем объеме продаж составит около 20 %. Самый высокий уровень данного показателя приходится на европейские страны и Китай. Исходя из данных, приведенных в этом источнике, рынок продаж гибридных и электромобилей будет возрастать ежегодно и достигнет почти 60 % в 2030 г. В связи с этим актуальным является вопрос, связанный с развитием инфраструктуры, необходимой для зарядки электромобилей [4]. При исследовании данной проблемы возникает необходимость в разработке и внедрении эффективного зарядного оборудования для электромобилей малой грузоподъемности и большегрузных электромобилей. В части решения первой составляющей можно использовать интермодальные терминалы, учитывая необхо-

димось соблюдения требований безопасности и экологических норм. По-прежнему актуальной является и проблема увеличения длительности службы аккумуляторных батарей для большегрузных транспортных средств, а также городских и междугородних автобусов.

Как отмечалось выше, электромобили обладают более высокой энергоэффективностью в сравнении с автомобилями, которые работают на ископаемом топливе, т. е. они имеют низкие тепловые потери и не производят выхлопных газов. Если рассматривать экологические факторы (выбросы парниковых газов), то для многих европейских стран электромобильность стоит на первом плане и является ключевой стратегической целью при разработке вопросов, связанных с улучшением качества воздуха. Особенно интенсивно данная проблема решается в Германии и Нидерландах. Даже Норвегия, имея собственные нефтяные запасы, стремится к продаже новых легковых автомобилей и автофургонов с нулевым уровнем выбросов.

Вместе с тем, принимая решения о покупке электромобиля, в первую очередь необходимо учитывать стоимость электродвигателя, аккумуляторов, запас хода и наличие станций зарядки. Резкий спрос на продажи электромобилей ведет к увеличению потребности в таком важном сырье, каким является литий, кобальт и никель, использующиеся в производстве аккумуляторных батарей для электрического транспорта. Первый составной элемент позволяет получить высокую удельную энергоемкость и долговечность, а последние два металла – стабильность и емкость накопителя энергии. Представляется, что в перспективе такая тенденция приведет к изменению цен в мире на это стратегическое сырье. Естественно, она повлияет на стоимость электрических батарей, а соответственно и на цену электромобиля [5].

Учитывая вышеизложенное, ЕС принял пакет мер, который приведет к уменьшению на 55 % выбросов парниковых газов. Под эту цель разработаны новые механизмы, включая законодательство и трансформационные изменения в различных областях экономики Европейских стран. Следовательно, возникла необходимость в разработке таких силовых агрегатов, которые могут обеспечить существенное снижение выбросов парниковых газов, т. е. необходим

большой запас возобновляемой энергии или необходимо отдавать предпочтение улавливанию и хранению углерода.

Еще одна проблема, которая должна рассматриваться при определении экономической эффективности использования электромобилей, сводится к организации надежной и безопасной системы утилизации батарей. Вариантов здесь может быть несколько, в частности захоронение на полигонах, перепрофилирование, использование для других целей составных элементов. В мировой практике существуют различные стратегии на условиях возвратной логистики и др.

Сравним основные затраты, связанные с эксплуатацией бензиновых, дизельных и электромобилей [6]. Самым важным элементом, как отмечалось, является стоимость их приобретения, определяемая ценой покупки нового автомобиля. Исследования рынка продаж новых автомобилей показывают, что он разнообразен и цены колеблются в широком диапазоне в зависимости от производителя, марки и типа подвижного состава, условий эксплуатации, государственной политики в области производства и продаж новых автомобилей, конкуренции и других факторов. Однако электрический транспорт имеет следующие преимущества перед бензиновыми и дизельными автомобилями.

1. Учитывая мировые тенденции в области развития электроэнергетики, а также рост стоимости топлива для бензиновых и дизельных автомобилей, следует признать, что электромобили выгоднее использовать как при перевозке грузов, так и пассажиров. Хотя имеется множество различных факторов, влияющих на фактический расход и стоимость топлива (например, модель автомобиля, стиль вождения, климатические условия, регион эксплуатации), однако средняя стоимость израсходованного топлива для электромобилей имеет явное преимущество перед другими видами автотранспортной техники. Кроме того, что электроэнергия дешевле и эффективнее бензина, электромобили имеют меньше движущихся и вращающихся частей, приводящих к трению. Вместе с тем фактическое энергопотребление зависит не только от параметров электромотора, но необходимо учитывать вес автомобиля, его аэродинамику и работу климат-контроля. В последних публи-

кациях реальное энергопотребление в некоторых моделях Tesla, Volkswagen и Kia составляет от 6 до 8 км на 1 кВт·ч [3].

2. При расчете расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание автомобилей учитываются проводимые плановые обслуживания (замена масла, шин, различных жидкостей, изношенных деталей и узлов, устранение неисправностей, различных утечек, проверка тормозов и т.п.), а также различные ремонты [7]. Необходимо отметить тот факт, что для электромобилей нет необходимости в замене масел, свечей зажигания, воздушных фильтров, а также они имеют меньший износ тормозной системы вследствие рекуперативного торможения (у них восстанавливается часть кинетической энергии, которая не использовалась бы в других случаях).

Проведение регулярного технического обслуживания (ТО) электромобилей в основном сводится к замене фильтра салона, проверке уровня антифриза в системе охлаждения батареи, а также технического состояния светотехники.

3. Как уже отмечалось, большинство автопроизводителей предусматривают различные преференции для владельцев электромобилей (бесплатные муниципальные парковки, свободный проезд по платным магистралям, в некоторых регионах владельцы освобождаются от уплаты транспортного налога).

4. Новые современные электромобили имеют пробег до подзарядки 1000 км и более при ежегодном сокращении времени зарядки для новых автомобилей. Современные быстрые станции обеспечивают процесс зарядки в течение одного часа.

5. В нашей стране при приобретении новых электромобилей владельцы согласно законодательству освобождаются от уплаты транспортного налога до конца 2025 г. Кроме того, если резидент Республики Беларусь ввозит электромобиль в возрасте до пяти лет, то в этом случае используется нулевая ставка НДС.

6. Электромобили не издают шума во время движения, так как отсутствует ДВС. Разгоняя данный автомобиль, особенно в городских условиях, где приходится часто производить торможения и быстрые старты, они создают комфортные условия для поездки как для водителя, так и для пассажиров. Для многих водителей пре-

имуществом является и отсутствие ручного переключения передач в данном автомобиле.

7. Важнейшим элементом при оценке эффективности использования различных видов автотранспорта является выброс парниковых газов, т. е. экологический фактор. Требования к экологической безопасности изложены в различных международных документах, содержащих ограничения токсичности отработавших газов, таких как углеводороды, оксиды азота, окись углерода и др. Они постоянно пересматриваются и ужесточаются.

В ЕС в 2020 г. введены нормы выбросов CO₂ для новых легковых автомобилей и автофургонов, а также в этом же документе определены целевые показатели для развития автомобильного парка до 2030 г. В 2022 г. ООН были приняты Глобальные технические правила по долговечности использования бортовых аккумуляторов для полных и гибридных автомобилей, которые заряжаются от внешнего зарядного устройства. Современные электромобили соответствуют по эксплуатационным и экологическим параметрам перечисленным выше нормам.

Для сравнения затрат и определения экономической эффективности использования различных автомобилей нами выбраны легковые автомобили GEELY: один – с двигателем внутреннего сгорания, а второй – электромобиль, которые схожи по техническим характеристикам, уровню комфорта и безопасности и продаются в Республике Беларусь у официального дилера. Внешний вид данных автомобилей представлен на рис. 1 [8].

Для расчета эксплуатационных расходов проанализируем основные технико-эксплуатационные показатели данных автомобилей, приведенные в табл. 1 [6, 9].

Определим срок эксплуатации автомобилей. Согласно постановлению Министерства экономики Республики Беларусь от 30 сентября 2011 г. № 161 «Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь» (в ред. постановлений Минэкономики от 24.07.2013 № 52, от 17.11.2014 № 81, от 10.04.2017 № 9), для автомобилей малого класса (с рабочим объемом двигателя от 1,2 до 1,8 л) нормативный срок службы легкового автомобиля составляет 7 лет.



Рис. 1. Внешний вид автомобилей GEELY GS, GEOMETRY C

Fig. 1. Exterior view of GEELY GS, GEOMETRY C cars

Таблица 1

Технико-эксплуатационные показатели автомобилей GEELY GS, GEOMETRY C
Technical and operational indicators of GEELY GS, GEOMETRY C vehicles

Показатель	Модель			
	GEELY GS		GEELY GEOMETRY C	
Нип двигателя	Бензиновый		Электрический	
Стоимость автомобиля, руб.	60000		104900	
Рабочий объем/мощность	1800 см ³	133 л. с./98 кВт	–	150кВт
Полная масса ТС, кг	1700		2100	
Плановое ТО	Пробег, км	Стоимость, руб.	Пробег, км	Стоимость, руб.
ТО-1	10000	460	15000	340
ТО-2	20000	570	30000	260
ТО-3	30000	540	45000	210
ТО-4	40000	800	60000	350
ТО-5	50000	540	75000	340
ТО-6	60000	640	90000	260
ТО-7	70000	460	105000	150
ТО-8	80000	800	120000	330
ТО-9	90000	540	135000	320
ТО-10	100000	705	150000	360
Страхование гражданской ответственности владельцев транспортных средств (ГОВТС)	23,6		23,9	
Налог на транспортное средство	110		0	
Удельные энергозатраты на 100 км город/загород (в условиях отрицательных температур)	Расход топлива, л/100 км	7,0/9,6 (8,0/10)	Расход энергии, кВт/100 км	19 (28,5)
Стоимость (топлива/электричества), руб	Бензин АИ95 1 литр	2,44	1 кВт	0,43/0,56
Емкость (топливного бака/батареи)	60 л		70 кВт·ч	
Среднегодовой пробег, км	25000			

Рассчитаем основные показатели при эксплуатации электромобиля GEELY GEOMETRY C. Важнейшими из них являются расход и

стоимость электроэнергии. Опыт эксплуатации электромобилей в нашей стране показывает, что зимой их пробеги на полностью заря-

женной тяговой аккумуляторной батарее по объективным причинам становятся короче тех, которые электрокары проезжают летом. Так, дальность пробега на одной зарядке тягового аккумулятора по циклам NEDC (New European Driving Cycle) и CLTC (China Light-Duty Vehicle Test Cycle) эксперты по электро-транспорту для получения реальных цифр пробега рекомендуют делить на 1,43. Пробег, измеренный по методикам WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure), нужно разделить на 1,12. Таким образом, расход электроэнергии при летней эксплуатации, равный 18–20 кВт/100 км, увеличивается до 27–30 кВт/100 км зимой.

Предположим, что весь год электромобиль эксплуатируется с одинаковой интенсивностью. Определим для него среднесуточный пробег по следующей формуле [1]:

$$L_{ss} = \frac{L_{\text{общ}}}{D_{\text{к}}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{общ}}$ – годовой пробег, км; $D_{\text{к}}$ – количество дней эксплуатации.

Тогда среднесуточный пробег автомобиля, проезжающего 25,0 тыс. км в год и эксплуатируемого 365 календарных дней, составит 68,5 км.

Предположим, что автомобиль 2,5 месяца (75 дней) эксплуатируется в зимних условиях, расходуя около 28,5 кВт/100 км. Таким образом, на этот период электроавтомобилу потребуется 19,5 кВт в сутки (28,5 кВт/100 км × 68,5 км). Тогда для 75 зимних суток, или на 5137,5 км пробега, ему потребуется 1462,5 кВт (19,5 кВт × 75).

Еще в течение 290 дней при среднесуточном пробеге 68,5 км и расходе 19,5 кВт будет расходоваться 13 кВт/сут. (19 кВт/100 км × 68,5 км), или в течение 290 сут. будет израсходовано 3770 кВт, т. е. столько электроэнергии электромобилу потребуется в теплый период эксплуатации.

Далее рассчитаем потребность электромобил в электроэнергии в течение года при пробеге 25 тыс. км. В данном случае исправному электроавтомобилу понадобится 5232,5 кВт (1462,5 кВт + 3770 кВт) электроэнергии. Если осуществлять быструю зарядку, то стои-

мость 1 кВт составляет примерно 0,56 руб. Следовательно, для рассматриваемого случая, суммарная стоимость составит 2930,2 руб. (5232,5 кВт × 0,56 BYN/кВт). В случае зарядки исключительно в ночные часы от бытовой сети (частный дом с трехуровневым тарифом) стоимость составляет 0,15 руб. за 1 кВт. Тогда стоимость электроэнергии при существующем тарифе будет равна 784,9 руб. (5232,5 кВт × 0,15 руб. за 1 кВт.).

Второй составляющей расходов являются затраты на плановые технические обслуживания, которые для анализируемого электромобиля составят 1910 руб. (340 + 260 + 210 + 350 + 340 + 260 + 150) из расчета его гарантийного пробега 100 тыс. км [7].

Следует учитывать, как было отмечено выше, что в Беларуси электроавтомобили освобождены от уплаты налога на транспортное средство. Для рассматриваемого случая затраты на обязательное страхование гражданской ответственности владельцев транспортных средств (ГОВТС) составят 23,6 евро, или в белорусских рублях величина будет равна 84,60 руб.

Рассчитаем размер взносов по добровольному страхованию транспортных средств «Автокаско» по годам в течение срока эксплуатации автомобиля: в первые три года – по 780 дол. США, в четвертом и пятом годах – по 634 дол. США, а в шестом и седьмом – по 1224 дол. США. Всего за семь лет необходимый размер взносов составит 6726 дол. США, или в белорусских рублях по курсу Нацбанка – 21994 руб., или 5498,5 руб. в год.

Рассчитаем основные показатели при эксплуатации автомобиля с бензиновым двигателем [5, 6]. Рассчитаем годовую стоимость топлива АИ-95 для данного автомобиля. Легковой автомобиль расходует 9,6 л/100 км в городском режиме езды и 6,3 л/100 за городом. С учетом того, что для жителей городов соотношение езды в городе и за его пределами обычно 70/30, получаем 17500 км проезда в городе и 7500 тыс. км за городом. Общий объем топлива, расходуемого на 25 тыс. км пробега, равен 2152,5 л (17500/100 × 9,6 + 7500/100 × 6,3). При этом его стоимость превысит 5252 руб.

Таблица 2

Средне суммарные эксплуатационные расходы на год
Average total operating costs per year

Показатель, руб.	Модель автомобиля		
	GEELY GS	GEELY GEOMETRY C Быстрая зарядка	GEELY GEOMETRY C Зарядка от бытовой сети
Затраты на топливо/электричество	5252,1	2930,2	784,9
Плановое ТО	1513,75	477,5	477,5
Страхование ГОВТС	83,54	84,6	84,6
Налог на ТС	110	0	0
«Автокаско»	3595,5	5498,5	5498,5
Итого без учета «Автокаско»	6959,39	3492,3	1347
Итого с учетом «Автокаско»	10554,89	8990,8	6845,5

Что касается стоимости планового технического обслуживания, то, по данным официальных дилеров, при гарантийном пробеге 100 тыс. км она превышает 6055 руб. (460 + 570 + 540 + 800 + 540 + 640 + 460 + 800 + 540 + 705).

Кроме того, ежегодный налог на транспортное средство равен 110 руб., затраты на обязательное страхование гражданской ответственности владельцев транспортных средств – 23,6 евро или 83,54 руб.

Определим сумму взносов по добровольному страхованию транспортных средств «Автокаско» по годам в течение срока эксплуатации автомобиля: в первые три года – по 510 дол. США, в четвертом и пятом годах – по 634 дол. США, а в шестом и седьмом – по 800 дол. США. Таким образом, за 7 лет необходимо внести на данный вид страхования 4398 дол. США, что в белорусских рублях составляет 14382 руб., или ежегодно данная сумма составляет 3595,5 руб.

Сведем все рассчитанные значения в табл. 2.

Исходя из данных таблицы, можно сделать следующие выводы. Электромобиль превышает стоимость бензинового на 44,9 тыс. руб. Разница в эксплуатационных расходах без учета затрат на добровольное страхование составляет 3467,09 руб., при зарядке в ночные часы от бытовой сети – 5612,39 руб. Если учитывать затраты на добровольное страхование, то эти величины составят 1564,09 и 3709,39 руб.

Расчет окупаемости электромобиля без учета затрат на добровольное страхование при быстрой зарядке показывает, что она составит 13 лет (44900/3467,09), при зарядке в ночные часы от бытовой сети – восемь лет (44900/5612,39). Если же учитывать затраты на добровольное страхование при быстрой зарядке, то эти цифры составят 28 лет (44900/1564,09), а при зарядке в ночные часы от бытовой сети – 12 лет (44900/3709,39).

Зависимость затрат от периода эксплуатации автомобилей представлена на рис. 2.

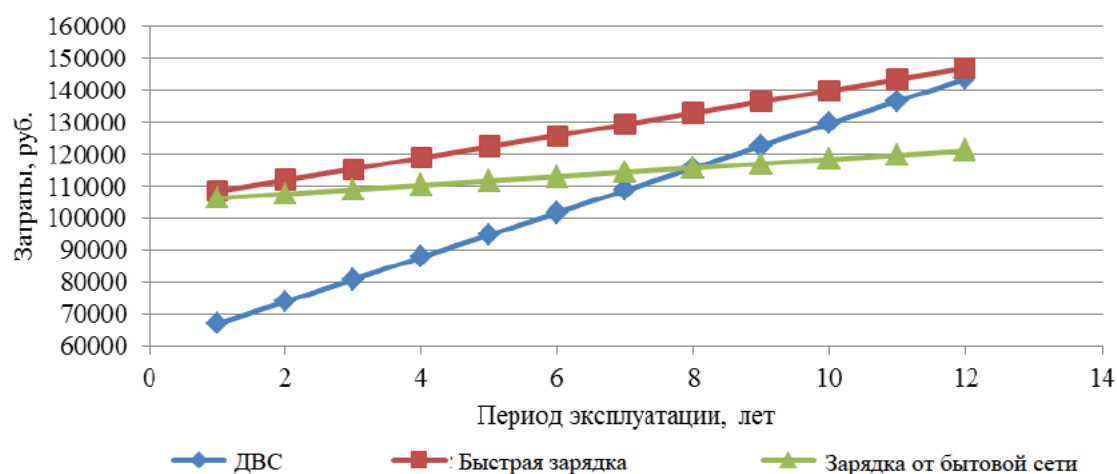


Рис. 2. Зависимость затрат от периода эксплуатации автомобилей

Fig. 2. Cost dependence of costs on the period of vehicle operation

Для оценки сравнительной эффективности приобретения автомобилей марок GEELY GS и GEOMETRY C используем показатель чистой дисконтированной стоимости проекта (ΔNPV), которая приведена по фактору времени к моменту оценки:

$$\Delta NPV = \sum \alpha_t \cdot \Delta NCF_t, \quad (2)$$

где α_t – коэффициент дисконтирования за период t (используем ставку рефинансирования 11,5 %); ΔNCF_t – дифференциальный денежный поток (разница между денежными потоками от приобретения и эксплуатации автомобилей GEOMETRY C и GEELY GS за период t).

Дифференциальный денежный поток ΔNCF_t определяется как разница между соответствующими денежными потоками для разных автомобилей.

Чистый денежный поток можно рассчитать по формуле

$$NCF = (\Delta S - \Delta C) (1 - T) + \Delta DP \cdot T + \Delta SV - (\Delta C_{арех} + \Delta WC), \quad (3)$$

где ΔS – разница выручки от реализации по сравниваемым автомобилям; ΔC – разница затрат без амортизации по сравниваемым автомобилям; T – ставка налога на прибыль; ΔDP – разница амортизации по сравниваемым автомобилям; ΔSV – то же доходов от продажи активов по сравниваемым автомобилям; $\Delta C_{арех}$ – то же стоимости приобретения по сравниваемым автомобилям; ΔWC – изменение рабочего капитала по сравниваемым автомобилям.

Для базового года ΔNCF будет равен

$$\Delta NCF_0 = -104900 - (-60000) = -44900 \text{ (руб.)}$$

Доход от продажи автомобиля после эксплуатации SV в течение семи лет определен по результатам укрупненной оценки вторичного рынка исследуемых автомобилей. Для бензинового автомобиля марки GEELY GS доход от продажи SV составит 39738 руб. (соответствует коэффициенту потери стоимости 33,77 %), а для электрического автомобиля GEOMETRY C величина значительно ниже – 21824 руб. (соответствует коэффициенту потери стоимости 79,99 %).

Определим величину ΔDP , т. е. разницу годовой амортизации по исследуемым автомобилям:

$$\Delta DP = ((104900 - 21824) - (60000 - 39738)) / 7 = 14763 \text{ (руб.)}$$

Разница в затратах без амортизации

$$\Delta C = 6845,5 - 10554,89 = -3709,39 \text{ (руб.)}$$

Так как используются средние данные о расходах на эксплуатацию, чистый денежный поток с первого по шестой годы определится по формуле

$$\begin{aligned} \Delta NCF(1-6) &= (-\Delta C) (1 - T) + \Delta DP \cdot T = \\ &= -(-3709,39) (1 - 0,2) + 14763 \cdot 0,2 = \\ &= 5920,11 \text{ (руб.)} \end{aligned} \quad (4)$$

Для последнего (седьмого) года эксплуатации при расчете ΔNCF необходимо добавить доходы от продажи автомобиля (по рыночной стоимости)

$$\begin{aligned} \Delta NCF(7) &= (-\Delta C) (1 - T) + \Delta DP \cdot T + \Delta SV = \\ &= \Delta NCF(1-6) + \Delta SV = \\ &= (5920,11 + (21824 - 39738)) = -11994 \text{ (руб.)} \end{aligned} \quad (5)$$

Для упрощения расчетов используем формулу, в которой применяется коэффициент аннуитета $\frac{1 - (1 + t)^{-r}}{r}$:

$$\begin{aligned} \Delta NPV &= \Delta NCF_0 + \Delta NCF(1-6) \frac{1 - (1 + t)^{-r}}{r} + \\ &+ \Delta NCF(7) \frac{1}{(1 + r)^r} = 44900 + 5920,11 \cdot \frac{1 - (1 + 0,115)^{-7}}{0,115} + \\ &+ (-11994) \cdot \frac{1}{1 + 0,115} = -23021 \text{ (руб.)} \end{aligned} \quad (6)$$

Так как последняя величина имеет отрицательное значение, это свидетельствует о неэффективности использования электроавтомобиля данной марки по сравнению бензиновым.

Таким образом, исследования показывают, что электроавтомобили, имея целый ряд преимуществ перед другими видами автомобильной техники с различными двигателями, в перспективе будут постепенно вытеснять из мирового

рынка старую технику и составят тренд будущего автомобильной индустрии. Ежегодно в развитие этой техники инвестируются большие финансовые средства, разрабатываются улучшенные новые модели с современными аккумуляторами и быстрой зарядкой. Анализируя перспективы развития электромобилей, можно отметить, что электромобильная революция набирает обороты благодаря значительным инвестициям в разработку новых моделей. Производители активно совершенствуют аккумуляторы и системы быстрой зарядки, что делает электромобили все более привлекательными для массового потребителя. Их стоимость демонстрирует устойчивую тенденцию к снижению, делая данную технику более доступной для широкого круга покупателей. В свою очередь, развитие инфраструктуры зарядных станций способствует оптимизации эксплуатационных расходов, включая снижение удельного расхода энергии на 100 км пробега. Кроме того, данные автомобили лучше по сравнению с классическими по динамическим характеристикам, в частности ускорение электромобилей происходит в среднем на 15 % быстрее автомобилей с ДВС, а максимальная скорость превышает 170 км/ч. Неуклонно растет запас хода на одной зарядке благодаря активному внедрению технологий быстрой зарядки.

Кроме важнейших критериев при выборе электромобиля (стоимости и запаса хода, который определяется емкостью батареи и энергоэффективностью силовой установки) следует учитывать и экологичность электромобилей, которая является их значительным преимуществом. Однако здесь требуется комплексный подход к оценке эффективности электромобилей. Отсутствие прямых выбросов компенсируется влиянием на экологию процесса производства электроэнергии на тепловых электростанциях, работающих на ископаемом топливе [10].

Практика свидетельствует и об имеющихся проблемах, которые в конечном итоге влияют на эффективность использования электромобилей, поэтому в некоторых случаях следует индивидуально рассчитывать затраты, учитывая марку и тип подвижного состава. Вместе с тем, несмотря на существование определенных проблем по эксплуатации электромобилей, они формируют тренд будущего развития мировой

автомобильной индустрии и требуют новых инновационных подходов по оценке эффективности их использования для различных условий эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Проанализированы изменения, происходящие в области загрязнения окружающей среды за счет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух автотранспортными средствами, работающими на различных видах топлива, и показаны создаваемые в различных странах благоприятные условия по широкому использованию электромобилей. Для увеличения продаж вышеуказанных автомобилей большинство стран вводят различные стимулирующие скидки, субсидии и т. п. Создаваемые благоприятные условия за счет различных эффективных экономических рычагов напрямую воздействуют на развитие транспортного рынка.

2. Рассмотрены различные факторы, влияющие на эффективность использования электрических автомобилей, такие как эксплуатационные затраты, первоначальная цена, экологичность, индивидуальные потребности пользователей, технические характеристики, а также наличие современных заправочных станций. Отмечено влияние на стоимость и запас хода емкости батареи и энергоэффективности силовой установки.

3. Для сравнения эффективности использования электромобилей выбраны две модели легковых автомобилей марки GEELY: один – с двигателем внутреннего сгорания, а второй электромобиль, которые схожи по техническим характеристикам, уровню комфорта и безопасности. Рассчитаны технико-эксплуатационные показатели, нормативные сроки службы автомобилей, расходы на топливо, эксплуатационные материалы, техническое обслуживание, страхование, налоги и др. Определены сроки окупаемости и эффективность использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический ежегодник Республики Беларусь / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведова [и др.]. Минск: РУП «Информационно-вычи-

- слительный центр Национального статистического комитета Респ. Беларусь», 2024. 317 с.
2. Tsarenkova, I. The Role of Transport in the Conditions of International Integration / I. Tsarenkova, T. Poplawski, R. Ivuts // *Futuribili. Rivista di Studi Sul Futuro e di Previsione Sociale*. 2021. Vol. XXVI, № 1/2. P. 231–246. <https://doi.org/10.13137/1971-0720/34416>.
 3. Хитрых, Д. Электромобили: мировые тренды, проблемы и перспективы / Д. Хитрых // Энергетическая политика. 2021. Январь. URL: <https://energypolicy.ru/elektromobili-mirovye-trendy-problemy-i-perspektivy/energoperehod/2021/14/27/>.
 4. Addendum 22: United Nations Global Technical Regulation No. 22. United Nations Global Technical Regulation on In-vehicle Bat-tery Durability for Electrified Vehicles. URL: http://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE_TRANS_180a22e.pdf.
 5. Экономический механизм развития транспортно-логистической деятельности на предприятиях / Р. Б. Ивуть, П. И. Лапковская, О. В. Мясникова, Д. Н. Месник. Минск: БНТУ, 2022. 240 с.
 6. Ивуть, Р. Б. Логистика: учеб. пособие для студ. / Р. Б. Ивуть. Минск: БНТУ, 2021. 462 с.
 7. Электрический кроссовер нового поколения // GELLY. URL: <https://geelyautomobile.by/models/geely-ex5>.
 8. Стоимость зарядки электромобилей // Malanka. URL: <https://malankabn.by/price>.
 9. UNECE Starts Regulatory Work on Automotive Life Cycle Assessment // UNICE. URL: <http://unece.org/media/transport/Vehicle-Regulations/news/375420>. Publ. date: 26.01.2023.
 10. Ивуть, Р. Б. Организационно-экономические основы цифровой трансформации транспорта: концептуальные подходы и направления развития / Р. Б. Ивуть, А. А. Хоросевич. Минск: БНТУ, 2024. 224 с.

Поступила 27.03.2025

Подписана в печать 01.06.2025

Опубликована онлайн 31.07.2025

REFERENCES

1. National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2016) *Statistical Yearbook of the Republic of Belarus*. Minsk, Information and Computing Center of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. 519 (in Russian).
2. Tsarenkova I., Poplawski T., Ivuts R. (2021) The Role of Transport in the Conditions of International Integration. *Futuribili. Rivista di Studi Sul Futuro e di Previsione Sociale*, XXVI (1/2), 231–246. <https://doi.org/10.13137/1971-0720/34416>.
3. Khitrykh D. (2021) Electric Vehicles: Global Trends, Problems and Prospects. *Energeticheskaya Politika*, January. Available at: <https://energypolicy.ru/elektromobili-mirovye-trendy-problemy-i-perspektivy/energoperehod/2021/14/27/> (in Russian).
4. *Addendum 22: United Nations Global Technical Regulation No. 22. United Nations Global Technical Regulation on In-vehicle Bat-tery Durability for Electrified Vehicles*. Available at: http://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE_TRANS_180a22e.pdf.
5. Ivut R. B., Lapkovskaya P. I., Myasnikova O. V., Mesnik D. N. (2022) *Economic Mechanism for the Development of Transport and Logistics Activities at Enterprises*. Minsk, Belarusian National Technical University. 240 (in Russian).
6. Ivut R. B. (2021) *Logistics*. Minsk, Belarusian National Technical University. 462 (in Russian).
7. New Generation Electric Crossover. *GELLY*. Available at: <https://geelyautomobile.by/models/geely-ex5> (in Russian).
8. Electric Vehicle Charging Cost. *Malanka*. Available at: <https://malankabn.by/price> (in Russian).
9. UNECE (26 January 2023) UNECE Starts Regulatory Work on Automotive Life Cycle Assessment. Available at: <http://unece.org/media/transport/Vehicle-Regulations/news/375420>.
10. Ivut R. B., Khoroshevich A. A. (2024) *Organizational and Economic Foundations of Digital Transformation of Transport: Conceptual Approaches and Directions of Development*. Minsk, Belarusian National Technical University Publishing House. 224 (in Russian).

Received: 27.03.2025

Accepted: 01.06.2025

Published online: 31.07.2025