

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ И АВТОМОБИЛЯ С ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Студент **Воротников М. Ю.**,
кандидат техн. наук, доцент **Лимарев А. С.**,
доктор техн. наук, профессор **Мезин И.Ю.**
(Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова)

COMPARISON OF THE OPERATING COSTS OF AN ELECTRIC VEHICLE AND A CAR WITH INTERNAL COMBUSTION ENGINE

M.Yu. Vorotnikov, Student,
A.S. Limarev, Ph.D. (Tech.), Associate Professor,
I.Yu. Mezin, Doctor (Tech.), Professor
(Nosov Magnitogorsk State Technical University)

Эксплуатационные расходы, электромобили, автомобильный транспорт, двигатели внутреннего сгорания.

Operating consumption, electric vehicles, road transport, internal combustion engine, comparison.

В настоящее время автомобиль является одним из основных загрязнителей окружающей среды. Более половины всех выбросов приходится на автомобильный транспорт. Учитывая увеличение парка автомобилей, растет актуальность разработки мероприятий по снижению воздействия автомобилей на окружающую среду. Одним из перспективных решений этого вопроса является переход на электромобили. Для потребителя важны затраты, которые он при эксплуатации автомобиля, т.е. эксплуатационные расходы. В работе рассматриваются возможные эксплуатационные расходы электромобиля и автомобиля с ДВС. Для этого произведена оценка затрат за первые 3 года эксплуатации транспортных средств и выявлены основные факторы.

Currently, the car is one of the main environmental pollutants. More than half of all emissions are from road transport. Given the increase in the car park, the issue of developing measures to reduce the impact of cars on the environment is gaining relevance. One of the promising solutions to this issue is the transition to electric vehicles. In addition, for the consumer, the costs that he will incur as a result of the operation of the car, which are described by the operating cost, are important. The paper discusses the possible operating costs of an electric vehicle and a car with an internal combustion engine. For this, the costs for the first 3 years of vehicle operation were estimated and the main factors were identified.

В настоящее время момент парк автомобилей постоянно увеличивается. Большая его часть оснащена двигателями внутреннего сгорания (ДВС), что приводит к увеличению загрязнения атмосферы. По оценкам специалистов более половины всех выбросов приходится на долю автомобильного транспорта [1]. Кроме того, необходимо учитывать сокращение легкодоступной нефти, которая является незаменимым компонентом производства топлива и смазочных материалов для автомобилей с ДВС. В связи с этим повышается актуальность перехода от производства и эксплуатации автомобилей с ДВС на автомобили, использующие альтернативные источники энергии, среди них можно выделить следующие [2]:

- автомобили с гибридными силовыми установками;
- транспортные средства, работающие на биотопливе;
- автомобили на водородном топливе;
- транспортные средства, работающие на сжатом природном газе;
- электромобили (ЭМ).

Одним из перспективных направлений является переход на электромобили (ЭМ). К основным достоинствам электромобиля относят: экологичность, низкий уровень шума, высокая безопасность и надёжность. Среди важнейших потребительских факторов транспортного средства, определяющих его покупательскую способность, можно выделить затраты на обеспечение работоспособности автомобиля или эксплуатационные

расходы, включающие стоимость расходных материалов и работ [3]. Значительные достоинства позволяют отметить перспективность использования электромобилей. Однако электромобили обладают и достаточно серьёзными недостатками, существенно замедляющими их использование и развитие, среди которых можно выделить: высокое время подзарядки, повышенный расход энергии в холодное время года, слабо развитая инфраструктура электро-заправочных станций (ЭЗС) [4] и высокая стоимость электромобиля. Исходя из этого, встаёт вопрос об актуальности проведения оценки эксплуатационного расхода электромобиля по сравнению с автомобилем, оснащённым ДВС.

Для оценки эксплуатационных затрат автомобиля применяют различные подходы: оценка затрат за один год использования транспортного средства (ТС), затраты на 1 км пробега ТС. В нашем случае определим затраты на покупку и эксплуатацию в течение трёх лет для электромобиля и автомобиля с ДВС и произведём их сравнительный анализ.

Для подсчёта стоимости автомобиля возьмём С-класс – класс легковых автомобилей согласно Европейской комиссии, имеющий длину до 4,3 м, ширину до 1,7-1,8 м, соответствующий классу «небольшой семейный автомобиль». Стоимость автомобиля зависит от таких критериев, как его марка, внедрение дополнительных технологий, надёжность узлов и агрегатов, технические характеристики двигателя и т.д. Для проведения анали-

**Информация о эксплуатационных материалах,
используемых в автомобиле с ДВС**

Материал	Интервал замены по пробегу, тыс. км	Стоимость материала, тыс. руб.	Стоимость работ, тыс. руб.	Годы замены (1, 2, 3)
Тормозные колодки	40 - 50	1 x 4	1,5	3
Тормозной диск	80	-	-	-
Свечи зажигания	30	2	-	2
Ремень (цепь) ГРМ	50 - 80	4	3	3
Масло в двигателе, масляный фильтр	10 - 15	2	1	1, 2, 3
Масло в механическую коробку передач (МКПП)	30 - 60	1,5	0,5	3
Антифриз	60 - 300	0,5	0,5	3
Тормозная жидкость	30 - 60	0,5	0,5	3
Воздушный фильтр	10 - 15	0,5	0,3	1, 2, 3

за возмём автомобиль средней ценовой категории. В этой категории стоимость базового автомобиля с бензиновым мотором 1,6 л мощностью 77,96 – 94,15 кВт (106 – 128 л. с.) и механической коробкой передач составляет 1000 – 2000 тыс. руб. [5]. Электромобили, в свою очередь, относящиеся к категории «масс-маркет», со средним запасом хода в 250 км и мощностью 80,17 – 100,03 кВт (109 - 136 л. с.), на сегодняшний день, имеют стоимость 2500 – 3000 тыс. руб. [6].

В электромобиле, по сравнению с автомобилем с ДВС не требуется применение различных масел, технических жидкостей и фильтров, таких как моторное масло, масло в коробку передач (КП), жидкость для охлаждения ДВС – антифриз, воздушный фильтр и т.д. [7]. Поэтому произведём подсчёт затрат по классам использования эксплуатационных материалов для двух автомобилей с различными силовыми установками. При определении стоимости услуг на проведение технического обслуживания в расчетах будет принято ориентировочное значение, которое было выбрано на основе усредненной цены работ автосервисных предприятий в различных регионах.

Для сохранения безотказного работы автомобиля производят своевременный комплекс профилактических мероприятий, называемых техническим обслуживанием (ТО). Основные затраты будут приходиться на периодическое ТО, которые заключаются в выявлении возможных неисправностей и их устранение, замена технических жидкостей, масел и фильтров [8]. Смазочные материалы и технические жидкости выполняют важнейшую функцию в двигателе внутреннего сгорания: отвод тепла от мест трения, защита трущихся узлов, уплотнение существующих в агрегате щелей и зазоров, охлаждение двигателя и т.д.

Согласно оценке аналитического агентства «АВТОСТАТ», средний пробег легкового автомобиля в России за год составляет 17,5 тыс. км. [9]. Исходя из этого, рассчитаем расходы за интервалы пробега 0 - 17,5, 17,5 - 35 и 35 - 52,5 тыс. км. пробега автомобиля.

Стоимость каждого ТО складывается из стоимости эксплуатационных материалов и проводимых работ. Следовательно, рассчитаем величину затрат, расходующую для покупки и замены смазочных, технических жидкостей и фильтров. Вследствие анализа цен на материалы и стоимости по их замене получаем значения в таблице 1 [10].

Наиболее ответственной и подверженной изнашиванию является тормозная система автомобиля – пара трения «тормозной диск - тормозная колодка», которая прямо влияет на эффективность и стойкость автомобиля во время торможения. Этот тип эксплуатационных материалов оказывает существенное влияние на безопасность дорожного движения, как известно, тормозная эффективность автомобиля является предметом жёсткого контроля и в случае превышения допустимых параметров тормозной системы требуется её замена [11]. Период замены тормозной пары прямо зависит от стиля езды водителя. Рекомендуемый период замены тормозных колодок: каждые 40-50 тыс. км. пробега. В отличие от колодок, тормозной диск служит значительно дольше и в среднем требует замены после 80 тыс. км пробега, вследствие чего, не будет требовать замены за первые 3 года эксплуатации. Затраты на эксплуатационные материалы и их интервалы замены для автомобиля с ДВС представлены в таблице 1 [12].

Электромобиль, в связи со своей конструкцией, не нуждается в жидкостях, прямо связанных с ДВС. Кроме того, вместо коробки передач с многочисленными деталями, в конструкции электромобиля применен простейший одноступенчатый редуктор. Замена масла в редукторе должна осуществляться каждые 50 тыс. км. пробега; замена тормозной жидкости аналогично с автомобилем с ДВС.

За счёт рекуперации энергии торможения в электромобиле, пара трения имеет минимальный износ при 100 тыс. км пробега, поэтому за данную дистанцию будет проводиться только ряд процедур по обслуживанию системы торможения: чистка скоб суппорта, смазка суппорта и тормозного поршня. Затраты на эксплуатационные материалы и их интервалы замены для электромобиля представлены в таблице 2.

Таблица 2.

**Информация об эксплуатационных материалах,
используемых в электромобилях**

Материал	Интервал замены, тыс. км	Стоимость материала, тыс. руб.	Стоимость работ, тыс. руб.	Год замены (1, 2, 3)
Масло в редуктор	50	1	0,5	3
Тормозная жидкость	40 – 50	0,5	0,5	3
Смазка для пары трения	50	1,5	1	3

Наибольшие затраты на эксплуатацию автомобиля с ДВС являются пункт - топливо для силовой установки. Расход топлива – не является постоянной величиной, он зависит от таких параметров, как температура окружающей среды и стиль вождения (город/трасса), поэтому возмём среднее значение для легкового автомобиля – 8 л/100 км. Для данного класса автомобилей

используют следующие виды марок бензинов – АИ-92 и АИ-95, стоимость которых, исходя из статистики Росстат, за литр составляет 44,6 руб. и 48,2 руб. соответственно [13]. Для подсчёта возьмём среднее значение 46,4 руб. Рассчитаем затраты на первые три года эксплуатации для авто с ДВС по критерию топлива для силовой установки по формуле (таблица 3):

$$P_m^0 = \frac{(R \cdot q)}{100} \cdot L, \quad (1)$$

где R – средний расход топлива, л/100 км;
 q – средняя стоимость литра топлива, руб./л.;
 L – среднегодовой пробег автомобиля, тыс. км.

Основой для движущей силы электромобиля является электроэнергия. На данный момент зарядка аккумуляторов может производиться следующими способами: на специальных зарядных станциях (ЭС) и в домашних условиях. Например, при эксплуатации в центральных регионах Российской Федерации, затраты на топливо могут отсутствовать, вследствие субсидирования зарядных станций. Подсчёт будет производиться по домашним тарифам на электроэнергию. Среднее значение дневного тарифа по всем регионам – 3,4 руб./кВт. ч., ночного – 1,7 руб./кВт. ч. [14]. Для подсчёта возьмём их среднее значение – 2,55 руб./кВт. ч. На 100 км. пробега электромобиль в среднем тратит 15 кВт. ч. Кроме того, ЭМ сильно подвержен изменению температур, как следствие в холодное время запас хода уменьшается почти в два раза из-за повышенного расхода на отопление. Будем считать, что таких дней в году 40%. Рассчитаем затраты на первые три года эксплуатации для электромобиля по критерию топлива для силовой установки по формуле (таблица 3):

$$P_m^1 = \frac{(M \cdot p)}{100} \cdot (0,6 + 2 \cdot 0,4) \cdot L, \quad (2)$$

где M – средний расход электроэнергии, кВт. ч./100 км.;
 p – средняя стоимость электроэнергии, руб./кВт. ч.

На территории Российской Федерации каждое транспортное средство облагается налогом, сумма которого зависит от мощности. Для точного подсчёта применяют формулу:

$$P_n = C \cdot N \cdot \frac{T_g}{12} \cdot \beta, \quad (3)$$

где C – региональная ставка;
 N – мощность двигателя, л. с.;
 T_g – количество полных месяцев владения автомобилем;
 β – повышающие или понижающий коэффициент.

Кроме того, этот налог относится к региональным, поэтому в некоторых субъектах для электромобилей налог отсутствует, например, Московская, Ленинградская, Калужская, Липецкая, Амурская, Курская, Калининградская, Тюменская, Иркутская области и Кабардино-Балкарская республика. Так же отмена налога распространяется на электромобили, мощность которых не превышает 110,33 – 147,10 кВт (150-200 л. с.).

Для автомобиля с мощностью 73,55 – 110,33 кВт (100 - 150 л. с.) в зависимости от региона налоговая ставка будет иметь значение 7 – 35, возьмём его среднее – 21. Также в формуле могут учитываться повышающие и понижающие коэффициенты. Например,

такой коэффициент предусмотрен для граждан, владеющих автомобилями стоимостью выше 3 млн рублей. Для автомобилей с ДВС, рассматриваемых в расчете, среднее значение мощности равно 86,05 кВт (117 л. с.), для электромобиля – 90,47 кВт (123 л. с.). Рассчитаем начисляемую сумму налога за год владения автомобилем (таблица 3).

Таблица 3.

Общие затраты за первые три года эксплуатации автомобилей

Тип силовой установки	1 год		2 год		3 год	
	ДВС	ЭМ	ДВС	ЭМ	ДВС	ЭМ
Средняя стоимость автомобиля, тыс. руб.	1500	2750	-	-	-	-
Техническое обслуживание, тыс. руб.	3,8	-	5,8	-	20,3	5
Топливо, тыс. руб.	64,96	9,4	64,96	9,4	64,96	9,4
Налог, тыс. руб.	2,457	2,583	2,457	2,583	2,457	2,583
	Для автомобиля с ДВС			Для электромобиля		
Суммарные затраты, тыс. руб.	1732,151			2790,949		
Суммарные затраты, тыс. руб. (без стоимости автомобиля)	232,151			40,949		

Проведенный в работе анализ показал, что сумма затрат на покупку и обслуживание автомобиля с электрической силовой установкой в 1,6 раза выше, чем сумма затрат на автомобиль с ДВС. Основным расходом является стоимость самого ТС, где электромобиль дороже в 1,83 раза, данному факту есть ряд обоснований. Во-первых, технология электро-мобильности совсем молодая и требует больших инвестиций, тогда как разработки и улучшения ДВС, коробок передач и иных узлов ведутся уже более ста лет. Во-вторых, важную роль ценообразования играет серийность производства. В мире сотни предприятий, выпускающих миллионы двигателей внутреннего сгорания. Столь массовое производство сильно снижает расходы на выпуск новых деталей. Электродвигателей и литий-ионных аккумуляторных батарей для электромобилей, в свою очередь, выпускают в сотни раз меньше. В-третьих, автопроизводители также нацелены на заработок от продажи запчастей и предоставлении услуг по ремонту автомобилей. В ДВС гораздо больше подвижных деталей, чем в электродвигателе, что сказывается на надёжности агрегата. Так что производители закладывают в стоимость электромобилей потери на расходных материалах, запчастях и услугах.

Эксплуатационные расходы автомобилей с бензиновым топливом почти в 6 раз превышают затраты, чем на электромобиль, где самой значительной является сумма расходов на топливо. В связи с технологическими прорывами, сравнительный показатель будет только расти. Так, например, инженеры Республики Южная Корея придумали, как можно увеличить ёмкость современных аккумуляторов в 4 раза, что по их подсчётам удвоит пробег в два раза, а также сократит время зарядки аккумуляторов – до 80% за 5 мин. Решение оказалось крайне простым: в современный электромобили

устанавливают аккумуляторы с графитовым анодом, и по мнению корейских экспертов, если заменить его на кремниевый, можно добиться таких улучшений. Ранее кремний не могли применять, так как он считался нестабильным и после нескольких циклов таких аккумуляторов значительно снижалась их ёмкость. Для решения этой проблемы они растворили кремний в масле и крахмальной воде, смешали между собой и выполнили термическую обработку, вследствие чего получился углеродно-кремниевый композит - анод, обладающий вышеперечисленными характеристиками [15].

На основе вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что при текущей ситуации электромобили в ближайшее время вряд ли смогут занять лидирующие позиции в области продаж автомобилей. Теме не менее в перспективе, учитывая достаточно низкие эксплуатационные расходы и повышение стоимости нефтесодержащего топлива, развитие электромобилей имеет достаточно хорошие перспективы. Более быстрому развитию применение такого транспорта в нашей стране может способствовать его субсидирование, например, государственная скидка на покупку электромобиля, налоговые льготы для владельцев электротранспорта, развитие междугородней инфраструктуры электро-зарядных станций и поддержка отечественных производителей электромобилей.

Литература

1. Аксенов И.Я. Аксенов В. И. Транспорт и охрана окружающей среды. - М.: Транспорт, 1986. – 176 с.
2. Лимарев А.С., Сомова Ю.В., Коваленко А.О., Очкова Е.А., Акманова З.С. Анализ возможностей снижения экологического воздействия автомобилей на окружающую среду // Современные проблемы транспортного комплекса России. -2016. Т.6. №1.- С. 47-50.
3. Лимарев А.С., Коваленко А.О., Очкова Е.А., Акманова З.С. Оценка целесообразности применения электродвигателей на электромобилях в современных условиях // ТРУДЫ НАМИ. 2015. №263.- С. 132-139.
4. L. Zhang, T. Brown, G.S. Samuelsen (2013). Evaluation of charging infrastructure requirements and operating costs for plug-in electric vehicles. J. of Power Sources, Vol. 240, No. 0, pp. 515-524.
5. Цена на автомобили малого среднего класса «С». [электронный ресурс] URL: <https://wtoom.ru/cars/class/c> (дата обращения 15.05.2021).
6. Электромобили в России 2020 года: цены, характеристики и транспортный налог. [электронный ресурс] URL: <https://gt-news.ru/ev/2020-2/> (дата обращения 15.05.2021).
7. Костенко В.И., Сидоркин В.И., Екшикеев Т.К., Янчеленко В.А. Эксплуатационные материалы (для автомобильного транспорта): Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2005. - 165 с.
8. Власов В.М., Жанказиев С.В., Круглов С.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учеб. пособие. – М.: Академия, 2013. – 432 с.
9. Аналитического агентства «АВТОСТАТ». Средний пробег легкового автомобиля. [электронный ресурс] URL: <https://www.autostat.ru/news/39841/> (дата обращения 15.05.2021).
10. Fit Service – сеть автосервисов. Прейскурант цен на выполняемые услуги по обслуживанию автомобиля. [электронный ресурс] URL: <https://magnitogorsk.fitauto.ru/services/list/> (дата обращения 13.04.2021).

11. ГОСТ 33997-2016 Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. - М.: Стандартинформ, 2017. 73 с. (дата обращения 18.04.2021).

12. ЛУКОЙЛ. [электронный ресурс] URL: https://lukoil-shop.ru/articles/tekhnicheskie_zhidkos.. (дата обращения 11.04.2021).

13. Цены на бензин по данным Росстат. [электронный ресурс] URL: <https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/> (дата обращения 17.04.2021).

14. Тарифы на электроэнергию по регионам Российской Федерации на 2021 год. [электронный ресурс] URL: <https://energovopros.ru/issledovaniya/2322/2323/34883/> (дата обращения 17.04.2021).

15. Исследование корейских инженеров. [электронный ресурс] URL: <https://phys.org/news/2020-02-high-capacity-ev-battery-materials-range.html> (дата обращения 18.04.2021).

Сведения об авторах:

Воротников Михаил Юрьевич, студент Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова».

Телефон 8(908) 938-01-02.

E-mail: vorotnikov_1996@inbox.ru.

Лимарев Александр Сергеевич доцент. кафедры «Технологий, сертификации и сервиса автомобилей», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

Телефон 8 (3519) 29-85-06.

E-mail: aslimarev@mail.ru.

Мезин Игорь Юрьевич, заведующий. кафедрой «Технологий, сертификации и сервиса автомобилей».

Тел. 8 (3519) 29-84-31.

E-mail: meziniy1@mail.ru.

Адрес: 455000 Магнитогорск, Челябинской обл. проспект Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

Information about the authors

Vorotnikov Mikhail Yurievich, student; FGBOU VO «Nosov Magnitogorsk State Technical University», Lenin Ave., 38, Magnitogorsk, Chelyabinsk region, 455000;

e-mail: vorotnikov_1996@inbox.ru,

tel. 8(908) 938-01-02.

Limarev Aleksandr Sergeevich, Ph.D., Associate Professor of the Department «Department of technologies, certification and service of motor vehicles»; FGBOU VO «Nosov Magnitogorsk State Technical University», Lenin Ave., 38, Magnitogorsk, Chelyabinsk region, 455000;

e-mail: aslimarev@mail.ru,

tel. 8(3519) 29-85-06.

Mezin Igor Yurevich, Doctor of Science, Professor, head of the Department «Department of technologies, certification and service of motor vehicles»; FGBOU VO «Nosov Magnitogorsk State Technical University», Lenin Ave., 38, Magnitogorsk, Chelyabinsk region, 455000;

e-mail: meziniy1@mail.ru,

tel. 8 (3519) 29-84-31.