

УДК 338.585



А.В. Востров, В.А. Раков
Вологодский государственный университет

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ПРИ РАЗНЫХ СХЕМАХ ЗАРЯДКИ

В статье представлены результаты расчетов экономической эффективности эксплуатации электромобилей по сравнению с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания, эксплуатируемыми на нефтяных топливах. Рассчитаны затраты на топливо и электроэнергию при разных схемах зарядки автомобилей. Рассчитаны сроки окупаемости электромобилей по сравнению с автомобилями с ДВС.

Электромобили, экономическая эффективность эксплуатации электромобилей, окупаемость электромобилей.

Основным трендом автомобильного рынка является вектор на широкое внедрение электромобилей.

В настоящее время отсутствуют детальные расчеты экономической эффективности эксплуатации электромобилей. Это связано с относительной новизной применения электромобилей и отсутствием долгих примеров эксплуатации. Второй сложностью оценки является классическая сложность сбора данных для легковых автомобилей личного пользования из-за отсутствия доступа к информации и значительным влиянием человеческого фактора.

В данной работе произведена попытка восполнить пробел сравнения эффективности эксплуатации электромобилей по сравнению с классическими автомобилями с бензиновыми ДВС при выведении субъективных факторов бережной эксплуатации «за скобки».

Основным преимуществом электромобилей считается то, что эксплуатационные затраты у них ниже, чем у автомобиля с ДВС.

В 2020 году доля модели Nissan Leaf среди продаваемых в России на вторичном рынке электромобилей составляла 90 % [1], в 2022 году доля этой модели сократилась до 52 % [2]. Большинство автомобилей этой модели на российском рынке эксплуатируются в значительной степени с деградировавшими батареями, требующими замены. Только стоимость замены батареи сопоставима с остаточной стоимостью самого электромобиля и замена батареи экономически не оправдана. Владельцы таких электромобилей предпочитают продать свой автомобиль, чем вкладываться в ремонт, перекладывая проблемы на плечи следующего покупателя. Емкость батарей таких автомобилей существенно сокращается, уменьшая пробег на одной зарядке, но эксплуатация таких авто технически возможна. Такой режим эксплуатации нельзя назвать нормальным, но он имеет место в силу финансовой возможности многих автовладельцев.

Затраты на эксплуатацию необходимо рассматривать с учетом затрат на замену тяговой батареи.

Особо стоит сказать про ресурс тяговой батареи. Ресурс современных тяговых батарей составляет до 2000 циклов (при глубине заряда до 80 %, разряда до 20 %). При емкости батареи 90 кВт·ч (расчетной эффективной емкости 54 кВт·ч) и средней норме расхода 20 кВт·ч/100 км заряда батареи хватит на расчетный пробег до 270 км (1 цикл зарядки/разрядки). Таким образом, ресурс батареи составит до 2000 циклов по 270 км или до 540 000 км. При емкости батареи 50 кВт·ч ее расчетный ресурс составляет до 300 000 км. В реальном режиме работы зарядка-разрядка в городских условиях происходит чаще, а на междугородних перевозках – реже, так что ресурс батареи в реальной эксплуатации не всегда достигает указанных значений. Снижение емкости батареи хуже при более высокой скорости зарядки и заряда батареи до более высокого уровня [3].

Расчет экономической эффективности должен осуществляться за весь период жизненного цикла автомобиля и включать кроме затрат на топливо/энергию также затраты на обслуживание и ремонт автомобиля, налоги, страховки, затраты на обновление (утрату стоимости), замену батареи электромобиля, шины, смазочные материалы. И если подобные работы для коммерческого транспорта выполняются [4, 5], то для индивидуального транспорта (тем более для электромобилей) подобных завершённых работ, даже на уровне существующей методики, не вызывающей критики, – нет. Расчет «стоимости владения» за несколько первых лет нельзя считать полным, а учет затрат на ремонты для индивидуального транспорта практически неосуществим.

Расчеты экономии топлива/электроэнергии, осуществляемые некоторыми авторами, рассчитывающими стоимость электроэнергии только при зарядке от до-

машней сети, не выдерживают критики. Экономия на энергию будет разной при разных схемах зарядки электромобилей, как видно из следующего примера.

Исходные данные: нормы расхода топлива в городском цикле для бензинового ДВС 10 л/100 км; для электромобиля 20 кВт·ч/100 км. Стоимость бензина 54,62 руб/л [6]; стоимость электроэнергии для населения за 1 кВт·ч колеблется в очень широких пределах [7] от 1,42 руб. в Иркутской области до 17,106 руб. в Камчатском крае (6,43 руб. в Москве; 5,7 руб. в Санкт-Петербурге). При использовании дифференцированного тарифа по временным зонам «ночной тариф» находится в пределах 0,945 руб. в Иркутской области до 11,974 руб. на Камчатке (3,43 руб. – Москва; 3,56 руб. – Санкт-Петербург). Стоимость электроэнергии для зарядки электромобиля составляет 12–15 руб/кВт·ч – на обычной зарядной станции общего пользования; 22–25 руб/кВт·ч для быстрой зарядки общего пользования. Чтобы учесть разницу в тарифах на электроэнергию, выполнен расчет для разных вариантов стоимости.

Некоторые зарядные станции на тестовый период обеспечивают бесплатный доступ к зарядке, но такие временные меры не должны учитываться при долгосрочных расчетах.

Затраты на топливо для автомобиля с ДВС, таким образом, составят 546,2 руб/100 км. Сравнение затрат с электромобилем при разных схемах зарядки представлено в таблице.

Как видно из таблицы, при быстрой зарядке на станции, позволяющей сократить потери времени до 0,6–1,5 ч, владелец практически не получает никакой финансовой экономии. Окупаемость электромобиля за счет экономии на топливе превышает срок службы электромобиля и составляет от 400 тыс. км (для условно бесплатного электричества) до 500 тыс. км при тарифе на электроэнергию более 5 руб/кВт·ч. При зарядке на станции общего пользования расчет-

ный пробег до окупаемости составит от 700 тыс. км (для тарифа 12 руб/кВт·ч) до 4,7 млн км при тарифе 25 руб/кВт·ч.

Сравним затраты при поездках на большие расстояния. Нормы расхода топлива для многих современных автомобилей в загородном режиме при экономичной езде (около 100–110 км/ч) составляют до 6,0 л/100 км. Затраты на топливо составят до 327,72 руб/100 км для автомобиля с ДВС и 440–500 руб/100 км для электромобиля при зарядке на быстрой станции. То есть автомобиль с ДВС на 26–34 % выгоднее электромобиля на маршрутах большой протяженности, на которых электромобиль вынужден заряжаться в пути.

При движении на скоростях 130–140 км/ч расход топлива увеличивается до 8–10 л/100 км у автомобиля с бензиновым ДВС и до 30–40 кВт·ч/100 км для электромобиля. В этом случае автомобиль с бензиновым ДВС выгоднее от 37 % (10 литров и 30 кВт·ч на 100 км) до 129 % (8 литров и 40 кВт·ч на 100 км).

Зарядка от домашней сети (3,5 кВт – до 25 часов) позволяет получить максимальную выгоду. При зарядке от домашней сети при разнице в тарифах по регионам и времени зарядки в 7 раз – эффект меняется в пределах 30 %. В одном регионе эффект от использования ночного тарифа составляет около 19 %. Зарядка на обычной зарядной станции общего пользования (15 кВт) почти в 2 раза сокращает эффект по сравнению с зарядкой от домашней сети.

При расчете экономической эффективности, кроме эксплуатационных расходов (себестоимости), необходимо учитывать окупаемость инвестиций. Каждый километр пробега позволяет экономить владельцу электромобиля около 4 рублей, но стоимость его автомобиля значительно дороже.

Ниже приведен оценочный расчет экономических показателей сравнительных затрат на покупку и владение электромобилем и аналогом с ДВС.

Таблица

Сравнение затрат на энергию при разных схемах зарядки электромобиля

Схема зарядки	Затраты руб/100 км	Разница с ДВС,		Годовая экономия*, руб.	Окупаемость за счет экономии топлива**, км
		руб/100 км	%		
Ночной тариф 1 руб.	20	526,2	2631 %	78 930	415 051
Ночной тариф 2 руб.	40	506,2	1266 %	75 930	431 450
Ночной тариф 3 руб.	60	486,2	810 %	72 930	449 198
Ночной тариф 3,5 руб.	70	476,2	680 %	71 430	458 631
Обычный тариф 5 руб.	100	446,2	446 %	66 930	489 467
Обычный тариф 6 руб.	120	426,2	355 %	63 930	512 435
Обычный тариф 7 руб.	140	406,2	290 %	60 930	537 666
«Бесплатное» электричество	–	546,2	–	81 930	399 854
Обычная зарядка общего пользования	240–300	306,2–246,2	82–128 %	45 930–36 930	отсутствует
Быстрая зарядка общего пользования	440–500	106,2–46,2	9–24 %	15 930–6 930	отсутствует

* годовой пробег принят 15 000 км.

** разность стоимости автомобилей 2 184 000 руб. [8].

Расчет денежных потоков для i -го года выполнен по формуле (1):

$$ДП_i = ДП_{i-1} + ЗТ_i + ЗТО_i + СнСт_i, \quad (1)$$

где $ДП_{i-1}$ – денежный поток предыдущего года;

$ЗТ_i$ – затраты на топливо/электроэнергию за i -й год;

$ЗТО_i$ – затраты на ТО за i -й год;

$СнСт_i$ – снижение стоимости автомобиля за i -й год.

Автомобиль с ДВС: Москвич 3 максимальной комплектации с вариатором. Цена 1 766 000 руб. [8]. Норма расхода топлива принята для городского цикла 10 л/100 км¹. Цена топлива из примера выше 54,62 руб/л.

Электромобиль: Москвич 3е. Цена 3 950 000 руб. [8]. Норма расхода энергии в городском цикле 20,0 кВт·ч/100 км². Цена электроэнергии 6,0 руб/кВт·ч. Для сравнения приведены расчеты для стоимости электроэнергии 3,0 и 12,0 руб/кВт·ч.

Среднегодовой пробег 15 000 км.

Периодичность ТО 15 000 км. Стоимость ТО электромобиля 5 000 руб; обычного автомобиля 15 000 руб.

Изменение стоимости авто (в процентах) за каждый год эксплуатации принято одинаково. Данные получены на основе изучения изменения стоимости

автомобилей разных годов выпуска на портале auto.ru.

В расчеты не заложены затраты на ремонты ввиду сложности их определения для владельцев индивидуального транспорта. Эти затраты на порядок меньше потери стоимости автомобиля и существенно не повлияют на итоговый результат. В расчет не заложена замена тяговой батареи электромобиля ввиду того, что практически она не осуществляется, а владельцы предпочитают эксплуатировать электромобиль с частично деградировавшей батареей и более частыми зарядками.

Результаты расчетов денежных потоков нарастающим итогом (начиная с приобретения) представлены на рисунке.

Как видно из рисунка вложенные средства в более дорогой электромобиль для выбранного примера никогда не окупятся. Разница в стоимости автомобилей Москвич составляет 124 % [8], в то время как в ЕС – 45–50 %, а в Китае – 10–20 % [9].

Для коммерческих легковых автомобилей (такси), имеющих годовые пробеги 50 000 км, точка безубыточности составит около 15 лет, что соответствует пробегу порядка 750 000 км, что выше ресурса. Фактически при таких годовых пробегах падение стоимости автомобиля будет выше принятого, и расчетная окупаемость сдвинется на еще более поздний срок.

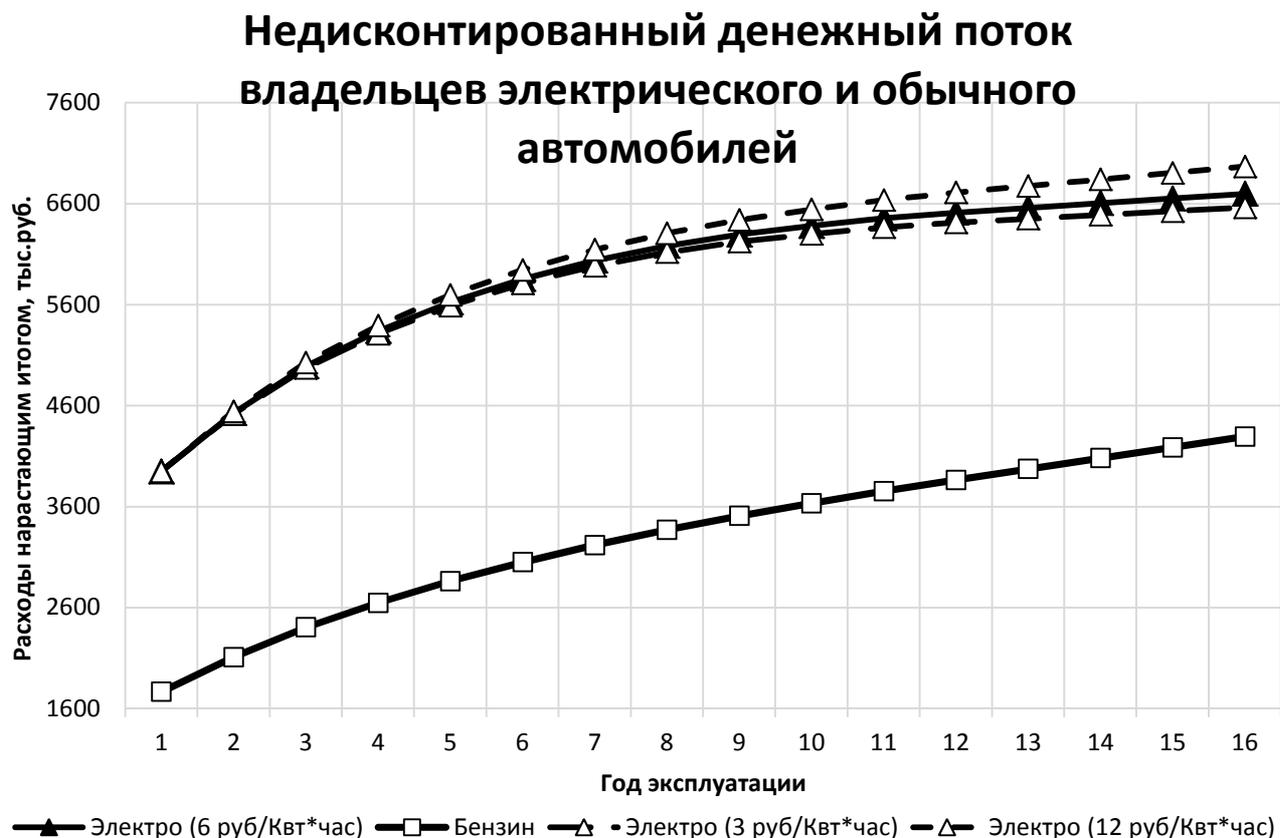


Рис. Сравнение денежных потоков электрического и обычного автомобилей

¹ Согласно данным сайта [8] расход в городском цикле 8,6 л/100 км.

² Согласно данным сайта [8] расход по тесту WLTP 16 кВт·ч/100 км.

Если в расчеты заложить дисконтирование денежных потоков, то ситуация будет значительно хуже для более дорогого электромобиля.

Снижение стоимости электроэнергии не оказывает итогового существенного значения на экономический результат.

При разности стоимости автомобиля с ДВС и электромобиля 40 % точка безубыточности соответствует пробегу около 250 000 км. При разнице в цене 20 % (как в Китае) электромобиль окупается после пробега 130 000 км.

Прогнозируемое специалистами фонда BloombergNEF [10] сокращение стоимости батарей до 58 \$/кВт·ч к 2030 году, при остающейся стоимости электрической трансмиссии и блоков зарядки, позволит сократить стоимость электромобиля на 7000 \$ (при емкости батареи 90 кВт·ч) и окупаемость для указанного выше примера сократится до 525 тыс. км.

С учетом вышесказанного положительный экономический эффект от эксплуатации электромобиля отсутствует. Возможная выгода может быть получена при наличии государственной поддержки. Так, в настоящее время при покупке электромобилей, собранных в России, государственная субсидия составит до 900 тыс. руб. Владельцы электромобилей во многих регионах России освобождены от уплаты транспортного налога, а в Москве имеют возможность бесплатно парковать свой автомобиль в центре города. Получение выгоды от эксплуатации электромобилей следует рассматривать при разности в стоимости с бензиновым аналогом менее 20 %.

Литература

1. Рынок электромобилей с пробегом в ноябре вырос на 53 %. [Электронный ресурс] // Аналитическое агентство Автостат. – URL: <https://www.autostat.ru/news/46826/> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

2. Рынок подержанных электрокаров в России вырос на 91 %. [Электронный ресурс] // Аналитическое агентство Автостат. – URL: <https://www.autostat.ru/news/51355/> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

3. Gauthier, Roby & Luscombe, Aidan & Bond, Toby & Bauer, Michael & Johnson, Michel & Harlow, Jes-

sie & Louli, A. & Dahn, J.. (2022). How do Depth of Discharge, C-rate and Calendar Age Affect Capacity Retention, Impedance Growth, the Electrodes, and the Electrolyte in Li-Ion Cells?. Journal of The Electrochemical Society. 169. 020518. 10.1149/1945-7111/ac4b82. URL: https://www.researchgate.net/publication/357842717_How_do_Depth_of_Discharge_C-rate_and_Calendar_Age_Affect_Capacity_Retention_Impedance_Growth_the_Electrodes_and_the_Electrolyte_in_Li-Ion_Cells (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

4. Сулейманов, Э. С. Оценка экономической целесообразности применения электробусов на автобусных маршрутах города Симферополя / Э. С. Сулейманов, Э. Д. Умеров // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2022. – № 1(75). – С. 164–172.

5. Об эффективности электробусов. [Электронный ресурс] // Автомобильный портал Дром.ру. – URL: <https://news.drom.ru/73342.html> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

6. Об объеме производства нефтепродуктов с 4 по 10 марта 2024 года и потребительских ценах на них [Электронный ресурс] // Росстат. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/38_13-03-2024.html (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

7. Тарифы на электроэнергию. – <https://energoseti.ru/rates>

8. Стоимость автомобилей Москвич 3 и Москвич 3е. [Электронный ресурс] // Автомобильный портал авто.ру. – URL: <https://moskvich-auto.ru/models/moskvich-3e#prices> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

9. Разница в стоимости электромобилей и бензиновых автомобилей в Китае. [Электронный ресурс] // Global EV Outlook 2022. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2022> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

10. Прогноз снижения стоимости батарей в Китае [Электронный ресурс] // Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. – URL: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/> (дата обращения: 07.04.2024). – Текст : электронный.

*A.V. Vostrov, V.A. Rakov
Vologda State University*

ANALYSIS OF ECONOMIC EFFICIENCY WHEN OPERATING ELECTRIC VEHICLES WITH DIFFERENT CHARGING SCHEMES

The article presents the results of calculations of the economic efficiency of the operation of electric vehicles in comparison with cars with internal combustion engines operated on petroleum fuels. Fuel and electricity costs are calculated for different car charging schemes. The payback periods of electric vehicles are calculated in comparison with cars with internal combustion engines.

Electric vehicles, economic efficiency of electric vehicles operation, payback of electric vehicles.