

УДК 629.3

Немков Владимир Александрович – научный руководитель, старший преподаватель, Владимирский государственный университет, г. Владимир,

E-mail: nemkov.va@mail.ru

Зайончевский Иван Дмитриевич – студент, Владимирский государственный университет, г. Владимир, E-mail: idz_2004@mail.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. В работе проведен комплексный анализ экологической эффективности электромобилей на основе методологии оценки жизненного цикла. Установлено, что ключевым фактором является углеродоемкость электроэнергии для зарядки и ресурсоемкость производства литий-ионных аккумуляторов. На примере сравнения Volkswagen Golf и Renault ZOE показано, что в регионах с преобладанием ТЭС (63% в РФ) косвенные выбросы электромобилей (146 г CO₂/км) превышают прямые выбросы ДВС (108 г/км). Выявлены экологические риски добычи лития (2000 т воды/1 т сырья) и низкий уровень переработки батарей (<5%). Предложены направления повышения экологической эффективности.

Annotation. The article provides a comprehensive analysis of the environmental efficiency of electric vehicles based on the methodology of life cycle assessment. It has been established that the key factor is the carbon intensity of electricity for charging and the resource intensity of lithium-ion battery production. Using the example of a Volkswagen Golf and Renault ZOE comparison, it is shown that in regions with a predominance of thermal power plants (63% in the Russian Federation), indirect emissions from electric vehicles (146 g CO₂/km) exceed direct emissions from internal combustion engines (108 g/km). The environmental risks of lithium mining (2000 tons of water/1 ton of

raw materials) and a low level of battery recycling (<5%) have been identified. The directions of increasing environmental effectiveness are proposed.

Ключевые слова: электромобиль, экологическая эффективность, выбросы, автомобиль с двигателем внутреннего сгорания, окружающая среда.

Keywords: electric vehicle, environmental efficiency, emissions, car with internal combustion engine, environment.

Растущая популярность электромобилей актуализирует задачу комплексной оценки их реальной экологической эффективности (ЭЭ), выходящей за рамки нулевых выхлопов при эксплуатации. В данной работе мы попытались оценить факторы, влияющие на экологическую эффективность, учитывая весь жизненный цикл автомобиля. Он состоит из 3-х основных этапов (Рисунок 1): производство, эксплуатация и утилизация.

Производство электромобилей играет важную роль в их экологической эффективности. Здесь стоит сосредоточиться на трех ключевых моментах: добыча сырья, производство деталей и сама сборка автомобиля.



Рисунок 1 – Схема оценки экологической эффективности

Ключевой компонент электромобилей – литий-ионные аккумуляторы – требует добычи лития, кобальта и никеля. Эта добыча сопряжена с существенными экологическими рисками: высоким водопотреблением, по данным ООН для производства 1 тонны лития используется 2 тысячи тонн воды, загрязнением почв и грунтовых вод. Как показывают данные Шведского института экологических исследований (2019), углеродный след производства – литий-ионных аккумуляторов составляет 61–106 кг CO₂-экв. на кВт·ч емкости.

Производство электромобилей, характеризуется повышенной энергоемкостью по сравнению с автомобилями с ДВС. Исследование журнала Nature, опубликованное в 2022 году. Оно показало, что электромобили выделяют больше углекислого газа на стадии производства — от 11 до 14 тонн, в то время как автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и гибриды — от 6 до 9 тонн, преимущественно из-за аккумуляторной батареи и энергоемких процессов. Следовательно, экологический долг электромобилей формируется уже на стадии производства.

В производстве электромобилей используется заметно больше электроэнергии, поэтому стоит учитывать, как именно она производится. В зависимости от методов добычи материалов и сборки частей экологическая эффективность может оказаться ниже, чем у обычных машин.

Этап эксплуатации традиционно рассматривается как сильная сторона электромобилей с точки зрения локальных выбросов. Однако оценка их глобальной экологической эффективности на этом этапе критически зависит от углеродоемкости генерируемой электроэнергии.

Как написано в статье Д. В. Кинёва: «Соотношение электроэнергии является основным фактором, определяющим, превосходит ли электромобиль автомобиль внутреннего сгорания при оценке воздействия на климат. Это связано с тем, что электростанции, вырабатывающие электроэнергию, действительно выделяют парниковые газы, когда они работают на ископаемом топливе, но электромобили не производят выхлопных газов, когда они работают. Таким образом, использование электромобилей исключительно на невозобновляемой электроэнергии скорее ухудшит климатический баланс.» [1, с. 193]

Для оценки экологической эффективности на этапе эксплуатации мы провели анализ технических характеристик двух автомобилей близких по своим параметрам силовых установок (Таблица 1).

Из данной таблицы видно, что экологическая эффективность электромобиля во многом зависит от источников, используемых для их зарядки и производства, что уже упоминалось ранее. При этом у электромобилей на этапе эксплуатации преобладают косвенные выбросы, из-за генерации электроэнергии для их движения, а у автомобилей с двигателем внутреннего сгорания есть только прямые выбросы, связанные со сжиганием топлива для движения. Во многих странах электроэнергия производится на теплоэлектростанциях, которые для выработки электричества используют ископаемое топливо. В России такие станции составляют 63% всех электростанций по данным Росстат. Следовательно, в большинстве регионов России экологическая эффективность электромобилей будет уступать автомобилям с двигателем внутреннего сгорания в краткосрочной перспективе, однако при пробегах свыше 100000 км их экологическая эффективность становится сравнима с автомобилями с ДВС. Использование возобновляемых источников энергии, для зарядки существенно улучшает баланс экологической эффективности электромобилей на этапе эксплуатации. Но и у нее есть свои недостатки. Стоит учитывать выбросы при производстве, транспортировке и утилизации этих систем. Проблема утилизации отработавших солнечных панелей и лопастей ветрогенераторов остается актуальной: существующие технологии переработки (пиromеталлургия, механическая переработка) часто экономически неэффективны или экологически неоптимальны, что приводит к складированию значительной части отходов.

Таблица 1 – Сравнение технических характеристик бензинового автомобиля с электромобилем

Характеристика	Volkswagen Golf	Renault ZOE
Тип двигателя	Бензин	Электродвигатель
Мощность	110 л.с. (81 кВт)	108 л.с. (80 кВт)
Максимальный крутящий момент Нм	200	225
Разгон до 100 км/ч, с	10.2	11.4
Расход (городской режим)	5.7 л/100 км	16.3 кВт·ч/100 км
Максимальная скорость, км/ч	200	135
Запас хода, км	780	260
Время полной заправки, мин	3	125
Размер бака (батареи)	45 л	41.0 кВт·ч
Выбросы CO ₂ **	108 г/км	146 г/км*

*- из расчета, что электроэнергия произведена теплоэлектростанциями (выбросы примерно 900 г/кВт*ч)

**- у автомобиля с ДВС прямые (непосредственно во время эксплуатации), у электромобиля косвенные (выработка энергии для заправки).

Так же влияние оказывают и способы транспортировки и преобразования электроэнергии. Они могут привести к потерям (Таблица 2), а следовательно, и уменьшению экологической эффективности электромобилей.

Утилизация электромобилей, в особенности литий-ионных аккумуляторов, представляет значительную экологическую проблему. Сложность обусловлена токсичностью компонентов (литий, кобальт, электролит) и несовершенством технологий извлечения ценных материалов (гидрометаллургия, пирометаллургия) при приемлемых экономических и экологических затратах. По данным Росстат перерабатывается менее 5%

всех аккумуляторных литий-ионных батарей остальные батареи направляются на длительное хранение или захоронение.

Таблица 2 – Эффективность передачи электроэнергии на расстоянии

Рабочее напряжение, кВ	% потерь/километр	Длина ЛЭП (км) для 10% потерь
1150	0,0022	4500
500	0,0043	2300
220	0,0143	700
110	0,0333	300
35	0,1	100
10	0,4	25
0,4	10	1

Чтобы сделать электромобили более экологичными, нужно: разработать новые технологии для изготовления деталей и их утилизации; использовать более экологически чистые способы производства электроэнергии; и перейти на аккумуляторы, для которых не нужны опасные материалы.

Литература

1. Влияние электромобилей на экологию: [электронный ресурс]: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/40873/1/978-5-9907908-1-0_2022_045.pdf (дата обращения: 6.03.2025).
2. Раскрыта вся правда об экологичности электрокаров – есть большие вопросы: [электронный ресурс]: <https://www.zr.ru/content/news/950584-raskryta-vsya-pravda-ob-ehkologi/> (дата обращения: 5.03.2025).
3. Экологичны ли электромобили?: [электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichny-li-elektromobili/viewer> (дата обращения: 5.03.2025).
4. Росстат [электронный ресурс]: <https://ssl.rosstat.gov.ru/?ref=website->

popularity (дата обращения: 6.04.2025).

5. Журнал «nature»: [электронный ресурс]: <https://www.nature.com> (дата обращения: 6.04.2025).

6. Производство литий-ионных аккумуляторов для электромобилей: выбросы и затраты энергии: [электронный ресурс]: <https://www.in-power.ru/news/elektrotehnika/27424-proizvodstvo-litii-ionnyh-akkumuljatorov-dlja-elektromobilei-vybrosy-i-zatraty-.html> (дата обращения: 7.04.2025).

7. In pictures: South America's 'lithium fields' reveal the dark side of our electric future: [электронный ресурс]: <https://www.euronews.com/green/2022/02/01/south-america-s-lithium-fields-reveal-the-dark-side-of-our-electric-future> (дата обращения: 7.04.2025).

Literature

1. The impact of electric vehicles on the environment: [electronic resource]: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/40873/1/978-5-9907908-1-0_2022_045.pdf (date of request: 03/6/2025).

2. The whole truth about the environmental friendliness of electric cars has been revealed – there are big questions: [electronic resource]: <https://www.zr.ru/content/news/950584-raskryta-vsya-pravda-ob-ehkologii/> (date of issue: 03/5/2025).

3. Are electric vehicles environmentally friendly?: [electronic resource]: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologichny-li-elektromobili/viewer> (date of access: 03/5/2025).

4. Rosstat [electronic resource]: <https://ssl.rosstat.gov.ru/?ref=website-popularity> (date of access: 04/6/2025).

5. Journal "nature": [electronic resource]: <https://www.nature.com> (date of issue: 04/6/2025).

6. Production of lithium-ion batteries for electric vehicles: emissions and energy costs: [electronic resource]: <https://www.in-power.ru/news/elektrotehnika/27424-proizvodstvo-litii-ionnyh-akkumuljatorov-dlja-elektromobilei-vybrosy-i-zatraty-.html> (date of request: 04/7/2025).

7. In pictures: South America's 'lithium fields' reveal the dark side of our electric future: [electronic resource]: <https://www.euronews.com/green/2022/02/01/south-america-s-lithium-fields-reveal-the-dark-side-of-our-electric-future> (date of request: 7.04.2025).