

## **ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАК СПОСОБ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА**

**М. В. Тучин, М. В. Иванов, Д. С. Сапрыкина, Д. А. Егорова**

*ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия*

**Ключевые слова:** глобальное изменение климата; декарбонизация транспорта; парниковый эффект; экологизация; экологические проблемы современности.

**Аннотация:** Изучена целесообразность декарбонизации национального транспортного комплекса путем электрификации легковых автомобилей с точки зрения эмиссий парниковых газов за полный жизненный цикл. Представлена оценка вклада транспортного сектора в суммарный уровень эмиссий парниковых газов. Выполнен количественный анализ и показано сравнение углеродного следа электрического автомобиля и легкового автомобиля с традиционным двигателем внутреннего сгорания.

### **Введение**

К числу наиболее острых для человечества и до сих пор нерешенных экологических проблем можно отнести антропогенное изменение климата. На протяжении последних двух-трех веков технические возможности человека изменять природную среду стремительно возрастали, достигнув своей высшей точки в эпоху научно-технического прогресса. Однако выяснилось, что рост могущества человека чаще всего приводил к увеличению отрицательных для природы и, в конечном счете, опасных для существования самого человека последствий его деятельности [1]. Главным доказательством именно техносферного происхождения экологических и климатических проблем служит быстрота развития негативных процессов на планете [2].

Рост населения наряду с развитием промышленности – основной фактор негативного влияния на биосферу, поскольку возрастание численности человечества сопровождается увеличением потребностей промышленного производства и объема вовлекаемых природных ресурсов. Особенно он выражен в странах Азии, Африки и Латинской Америки [1].

---

Тучин Михаил Витальевич – студент, e-mail: tuchin00@bk.ru; Иванов Михаил Витальевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Экология и промышленная безопасность»; Сапрыкина Дарья Сергеевна – студент; Егорова Дарья Андреевна – студент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия.

Одним из подходов к решению проблемы глобального изменения климата в социальном и экономическом плане является новая экологическая политика, проводимая странами согласно Парижскому соглашению, принятому в 2020 году и подразумевающему разработку национальных стратегий перехода на безуглеродную экономику, введение «зеленых» технологий, сокращение выбросов парниковых газов (ПГ) и др. [3, 4]. Такая концепция, в основе которой, в том числе, лежат принципы экологической безопасности, называется устойчивым развитием, вклад в которую может внести и российский транспортный сектор. С этой целью может выступать декарбонизация наземного транспортного комплекса путем электрификации легковых автомобилей.

Цель работы – оценка реального снижения эмиссии ПГ при замещении традиционного вида легкового транспорта электрическим на примере сравнительного анализа электрокара и стандартного легкового автомобиля с двигателем внутреннего сгорания с точки зрения выбросов ПГ как при эксплуатации, так и с учетом полного жизненного цикла.

### Расчетная часть

Для отображения доли выбросов от легкового транспорта относительно всех эмиссий применяется расчет через годовое потребление топлива этим сектором по данным национального доклада о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ.

Согласно национальному докладу о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями ПГ, потребление топлива легковых машин, работающих на бензине, составило 689558,76 ТДж или 98 % от суммарного потребления всех видов топлива за 2018 год [3]. Применяя методику, представленную в [5], найдем выбросы от данного источника

$$G_t = Fg_t = 689\,558,76 \cdot 75,2 = 51,9 \text{ млн т CO}_{2\text{ЭКВ}},$$

где  $F$  – общее потребление топлива в рамках схемы эксплуатации, Дж;  $g_t = 75,2$  г  $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}/\text{МДж}$  – коэффициент выброса ПГ при работе транспортного средства на бензине.

Полученный результат отражает уровень в 2,5 % от суммарных эмиссии всех секторов экономики и промышленности.

### Выбросы парниковых газов в период эксплуатации

Усредненное потребление электроэнергии электромобилем (ЭМ) составляет 16 кВт·ч на 100 км [6]. Проанализировав данные, представленные в [7], можно сделать вывод, что средние выбросы ПГ составляют 705,5 г  $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$  на кВт·ч произведенной электроэнергии. Эмиссии ПГ с учетом потерь при передаче электроэнергии от источника до потребителя, равным 15 % [8], составят

$$G_{\text{ЭМ}} = 16 \cdot 0,7055 \cdot 1,15 = 12,9 \text{ кг CO}_{2\text{ЭКВ}} / 100 \text{ км.}$$

Найдем эмиссию парниковых газов от прямого сжигания топлива традиционным легковым автомобилем (ТА) в процессе эксплуатации

$$G_{ТА} = g_t L = 2,42 \cdot 10 = 24,2 \text{ кг CO}_{2\text{экв}} / 100 \text{ км},$$

где  $g_t$  – коэффициент выброса ПГ при работе транспортного средства на бензине,  $g_t = 2,42 \text{ кг CO}_{2\text{экв}} / \text{л}$ ;  $L$  – усредненный расход для среднестатистического легкового автомобиля,  $L = 10 \text{ л}/100 \text{ км}$ .

Следовательно, снижение эмиссий в период эксплуатации транспортных средств за счет использования электрокаров составляет 46,7 %.

### Учет полного жизненного цикла

Энергозатраты на производство, ремонт, транспортировку и утилизацию для электрокара и бензинового автомобиля равны и составляют по 12 000 кВт·ч, так как основные структурные составляющие (ходовая часть, несущая конструкция и пр.) конструктивно схожи [9]. Референсное значение для периода эксплуатации принимается для общего условно принятого пробега, равного 290 тыс. км [10].

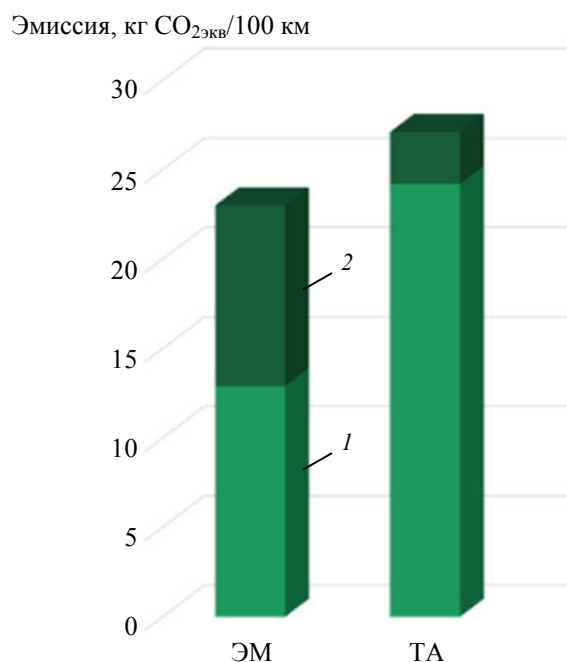
Однако для электрокара добавляются значительные выбросы, связанные с жизненным циклом батареи. Затраты материалов, необходимых для производства аккумулятора электрокара, представлены в табл. 1 [11].

Затраты первичной энергии на производство различных компонентов батареи, таких как анодная и катодная пасты, система охлаждения, батарейный модуль и так далее, составляют 544 кВт·ч на единицу емкости аккумулятора [12]. Воспользовавшись программным обеспечением SimaPro 9.3 на основе базы данных Ecoinvent 3.0 и методики расчета IPCC 2013 GWP 100a, получим суммарные эмиссии ПГ, равные 20 800 кг CO<sub>2экв</sub> за полный цикл производства и поставки батареи.

Таблица 1

### Затраты материалов на производство батареи, 40 кВт·ч

Исходный материал	Батарея, 40 кВт·ч, кг
Алюминий	142
Технический углерод	4,5
Кобальт	21
Медь	114
Этилен карбонат	32
Графит	36
Лития карбонат	24
Лития гексафторфосфат	4,5
Марганец	21
Никель	21
N-метилпирролидон	34,6
Поливинилиденфторид	6
Полипропилен	31,6
Низколегированная сталь	51



**Рис. 1. Сравнительная диаграмма результатов расчетов эмиссии при эксплуатации 1 и производстве 2**

Возможность переработки батареи не рассматривалась ввиду того, что этот процесс сопровождается большими энергозатратами, выбросами вредных веществ и экономически нецелесообразен на данном этапе развития наилучших доступных технологий.

Таким образом, просуммировав эти значения с уже приведенными расчетами для выбросов при использовании машин, получим  $G_{ЭМ} = 23$  кг CO<sub>2</sub>экв./100 км и  $G_{ТА} = 27,1$  кг CO<sub>2</sub>экв./100 км для электрокара и бензинового двигателя соответственно. Полученные значения показывают, что использование электрокара с учетом полного жизненного цикла на 15 % сокращает удельные выбросы ПГ в сравнении с традиционным легковым автомобилем (рис. 1).

Отметим положительный вклад электрификации транспорта в качество среды обитания, так как загрязненность атмосферного воздуха, в частности и продуктами сгорания автомобильного топлива, напрямую влияет на распространенность в городах болезней, особенно неспецифических хронических заболеваний органов дыхания, аллергических заболеваний, болезней эндокринной и нервной систем, желудочно-кишечного тракта [13, 14].

### **Заключение**

Проведена сравнительная характеристика углеродного следа электрокара и легкового автомобиля с традиционным двигателем внутреннего сгорания. По результатам расчетов выяснилось, что с учетом полного жизненного цикла для обоих видов транспортных средств снижение эмиссий парниковых газов за счет использования электрических автомобилей составляет 15%.

Следовательно, с учетом больших затрат на производство электрокаров в углеродном эквиваленте и незначительности выбросов парниковых газов транспортным сектором относительно суммарных эмиссий всех секторов экономики и промышленности, электрификация легковых автомобилей может быть целесообразной лишь как часть комплексного подхода к экологизации техносферы и декарбонизации энергетики, то есть через снижение стоимости энергии в углеродном эквиваленте, а также как способ популяризации и привлечения внимания к существующей проблеме.

#### *Список литературы*

1. Экология : учеб. пособие / М. Н. Корсак, С. А. Мошаров, А. П. Пестряков [и др.] ; под ред. С. В. Белова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 235 с.
2. Ткаченко, Ю. Л. Перспективы экологического развития России / Ю. Л. Ткаченко // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 2 (146). – С. 51 – 56.
3. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2019 гг. / Сост. А. А. Романовская, А. И. Нахутин, В. А. Гинзбург [и др.]. – М. : Росгидромет, 2021. – Ч. 1. – 459 с.
4. Ткаченко, Ю. Л. России нужна экологизация, а не просто модернизация / Ю. Л. Ткаченко, А. С. Керженцев // Энергия: экономика, техника, экология. – 2016. – № 1. – С. 32 – 39.
5. ГОСТ Р 57262–2016 Экологический менеджмент. Расчет и декларирование энергопотребления и выбросов парниковых газов при предоставлении транспортных услуг. – Введ. 2017-12-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.
6. AutoBild сравнил реальный запас хода и эффективность электромобилей в холодную погоду. – Текст : электронный // HeVCars. – URL : <https://hevcars.com.ua/realnyiy-zapas-hoda-i-effektivnost-elektromobiley-v-holodnuyu-pogodu/> (дата обращения: 27.11.2021).
7. Основные характеристики российской электроэнергетики. – Текст : электронный // Министерство энергетики РФ. – URL : <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 27.11.2021).
8. Капустин, А. А. Экологическая безопасность электромобилей с точки зрения выбросов CO<sub>2</sub> / А. А. Капустин, В. А. Раков / Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 178 – 182.
9. Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle / K. Aguirre, L. Eisenhardt, C. Lim [et al.]. – California Air Resources Board, 2012. – 33 p.
10. Life Cycle Assessment of Electric and Conventional Cars Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions / I. Evtimov, R. Ivanov, G. Kadikyanov, G. Staneva // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 234. – P. 02007.
11. Ellingsen, L. A.-W. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack / L. A.-W. Ellingsen, M.-B. Guillaume, S. Bhawna [et al.] // Journal of Industrial Ecology. – 2014. – Vol. 18, No. 1. – P. 113 – 124. doi: 10.1111/jiec.12072
12. Amarakoon, S. Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles / S. Amarakoon, J. Smith, B. Segal. – EPA, 2013. – 125 p.
13. Александров, А. А. Урбоэкология : учеб. / А. А. Александров, Е. В. Титов, В. А. Девисилов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 393 с.

14. Ткаченко, Ю. Л. От «синдрома больного здания» до глобальных проблем среды обитания / Ю. Л. Ткаченко, М. В. Комиссарова, Л. Л. Гошка // Экология внешней и внутренней среды социальной системы (ЭкоМир-9) : материалы 9 Междунар. науч. конф., 29–30 марта 2018 г., Мытищи – Москва. – М., 2019. – С. 180 – 182.

#### References

1. Korsak M.N., Mosharov S.A., Pestryakov A.P., Krolenko M.I., Titov Ye.V., Belov S.V. [Ed.] *Ekologiya: uchebnoye posobiye* [Ecology: textbook], Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana, 2006, 235 p. (In Russ.)

2. Tkachenko Yu.L. [Prospects for the ecological development of Russia], *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety], 2013, no. 2 (146), pp. 51-56. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Romanovskaya A.A., Nakhutin A.I., Ginzburg V.A. [et al.] [Comps.] *Natsional'nyy doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbtzii poglotitelyami parnikovyykh gazov ne reguliruyemykh Monreal'skim protokolom za 1990 - 2019 gg.* [National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990 - 2019], Moscow: Rosgidromet, 2021, part 1, 459 p. (In Russ.)

4. Tkachenko Yu.L., Kerzhentsev A.S. [Russia needs ecologization, not just modernization], *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology], 2016, no. 1, pp. 32-39. (In Russ.)

5. *GOST R 57262–2016 Ekologicheskiy menedzhment. Raschet i deklarirovaniye energopotrebleniya i vybrosov parnikovyykh gazov pri predostavlenii transportnykh uslug* [GOST R 57262–2016 Environmental management. Calculation and declaration of energy consumption and greenhouse gas emissions in the provision of transport services], Moscow: Standartinform, 2016, 54 p. (In Russ.)

6. <https://hevcars.com.ua/realnyiy-zapas-hoda-i-effektivnost-elektromobiley-v-holodnuyu-pogodu/> (accessed 27 November 2021).

7. <https://minenergo.gov.ru/node/532> (accessed 27 November 2021).

8. Kapustin A.A., Rakov V.A. [Ecological safety of electric vehicles from the point of view of CO<sub>2</sub> emissions], *Avtogazozapravochnyy kompleks + al'ternativnoye toplivo* [Autogas filling complex + alternative fuel], 2018, vol. 17, no. 4, pp. 178-182. (In Russ., abstract in Eng.)

9. Aguirre K., Eisenhardt L., Lim C. [et al.] *Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle*, California Air Resources Board, 2012, 33 p.

10. Evtimov I., Ivanov R., Kadikyanov G., Staneva G. Life Cycle Assessment of Electric and Conventional Cars Energy Consumption and CO<sub>2</sub> Emissions, *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 234, p. 02007.

11. Ellingsen L.A.-W., Guillaume M.-B., Bhawna S., Akhilesh K.S., Lars O.V., Anders H.S. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack, *Journal of Industrial Ecology*, 2014, vol. 18, no. 1, pp. 113-124, doi: 10.1111/jiec.12072

12. Amarakoon S., Smith J., Segal B. *Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles*, EPA, 2013, 125 p.

13. Aleksandrov A.A., Titov Ye.V., Devisilov V.A. *Urboekologiya: uchebnik* [Urban ecology: textbook], Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana, 2021, 393 p. (In Russ.)

14. Tkachenko Yu.L., Komissarova M.V., Goshka L.L. *Ekologiya vneshney i vnutrenney sredy sotsial'noy sistemy (EkoMir-9)* [Ecology of the external and internal environment of the social system (EcoMir-9)], Proceedings of the 9 International Scientific Conference, 29-30 March, 2018, Mytishchi - Moscow, Moscow, 2019, pp. 180-182. (In Russ.)

---

**Electrification of Passenger Cars as a Way  
of National Transport System Decarbonization**

**M. V. Tuchin, M. V. Ivanov, D. S. Saprykina, D. A. Egorova**

*Bauman Moscow State Technical University  
(National Research University), Moscow, Russia*

**Keywords:** global climate change; transport decarbonization; Greenhouse effect; greening; environmental problems of the present.

**Abstract:** The expediency of decarbonization of the national transport system by electrification of passenger cars has been studied in terms of greenhouse gas emissions over the full life cycle. An assessment of the contribution of the transport sector to the total level of greenhouse gas emissions is presented. A quantitative analysis is carried out and a comparison of the carbon footprint of an electric car and a passenger car with a traditional internal combustion engine is shown.

---

© М. В. Тучин, М. В. Иванов,  
Д. С. Сапрыкина, Д. А. Егорова, 2022