



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ РОССИИ: АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ

Воронин В.А.

ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени  
Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, Россия  
voroninva@kuzstu.ru

**Резюме:** ЦЕЛЬ исследования заключается в проведении комплексного анализа влияния ключевых параметров парка электротранспорта (ЭТ) и электрозарядной инфраструктуры (ЭЗИ) на потребление электроэнергии и мощности электроэнергетической системы России в средне- и долгосрочной перспективе. В отличие от существующих исследований, акцент сделан не только на прогнозе количества ЭТ, но и на сценарном анализе широкого спектра влияющих факторов. МЕТОДЫ. Для расчета электропотребления и максимальной мощности ЭЗИ по всем городам России с населением свыше 50 тыс. человек разработана математическая модель. Модель учитывает региональное распределение парка ЭТ, его структуру и модельный состав, климатические условия, характеристики ЭЗИ и поведенческие факторы. Оценка значимости факторов выполнена с помощью множественной линейной регрессии. РЕЗУЛЬТАТЫ. Установлено, что при парке ЭТ в 1 млн единиц вариация влияющих факторов может приводить к изменению электропотребления ЭЗИ в диапазоне от 0,14 % до 0,62 %, а максимума мощности – от 0,09 % до 2,26 % от показателей ЕЭС России 2024 года. Наибольшее влияние на максимум мощности оказывают параметры ЭЗИ: количество ЭТ на одну зарядную станцию (ЭЗС) (37,1 %) и доля быстрых ЭЗС (20,8 %), а также доля подключаемых гибридов (23,7%). На электропотребление наиболее значительно влияют доля подключаемых гибридов (32,3 %), коэффициент их использования (26,3 %) и доля электробусов в парке (21,6 %). Прогноз до 2050 года показывает, что электропотребление ЭЗИ может составить 8,13-11,85%, а максимум мощности – 11,54-16,81% от уровней 2024 года.

**Ключевые слова:** электромобили; электрозарядная инфраструктура электротранспорта; электрозарядные станции; прогнозирование; электроэнергетическая система.

**Благодарности:** Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2024-082/2).

**Для цитирования:** Воронин В.А. Исследование влияния электрозарядной инфраструктуры электротранспорта на электроэнергетическую систему России: анализ значимости факторов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2026. Т. 28. № 1. С. 70-88. doi: 10.30724/1998-9903-2026-28-1-70-88.

## INVESTIGATION OF THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE ON THE RUSSIAN POWER SYSTEM: FEATURE IMPORTANCE ANALYSIS

Voronin V.A.

Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia  
voroninva@kuzstu.ru

**Abstract: THE PURPOSE.** The purpose of this study is to conduct a comprehensive analysis of the impact of key parameters of the electric vehicle (EV) fleet and electric vehicle charging infrastructure (EVCI) on electricity consumption and peak power demand in Russia's power system in the medium and long term. In contrast to existing research, the focus is not only on forecasting the number of EVs but also on a scenario-based analysis of a wide range of influencing factors. **METHODS.** A mathematical model was developed to calculate the electricity consumption and maximum power demand of EVCI for all Russian cities with a population exceeding 50,000. The model accounts for the regional distribution of the EV fleet, its structure and model composition, climatic conditions, EVCI specifications, and behavioral factors. The significance of the factors was assessed using multiple linear regression. **RESULTS.** It was found that for an EV fleet of 1 million units, the variation in influencing factors can lead to changes in EVCI electricity consumption ranging from 0.14% to 0.62%, and in peak power demand from 0.09% to 2.26% of the 2024 levels of Russia's Unified Energy System (UES). The EVCI parameters have the greatest impact on peak power demand: the number of EVs per charging station (37.1%) and the share of fast chargers (20.8%), along with the share of plug-in hybrid electric vehicles (23.7%). Electricity consumption is most significantly influenced by the share of plug-in hybrids (32.3%), their utilization rate (26.3%), and the share of electric buses in the fleet (21.6%). The forecast up to 2050 shows that EVCI electricity consumption could reach 8.13-11.85%, and peak power demand could reach 11.54-16.81% of the 2024 levels.

**Keywords:** electric vehicles; electric vehicle charging infrastructure; electric vehicle charging stations; forecasting; power system.

**Acknowledgments:** This research was supported by the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant number 075-03-2024-082/2.

**For citation:** Voronin V.A. Investigation of the impact of electric vehicle charging infrastructure on the Russian power system: feature importance analysis. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2026; 28 (1): 70-88. doi: 10.30724/1998-9903-2026-28-1-70-88.

### **Введение (Introduction)**

Глобальное потребление электрической энергии (ЭЭ) электротранспортной инфраструктуры электротранспорта (ЭЭИ) в 2024 году составило около 180 ТВт·ч, т.е. порядка 0,7 % от мирового электропотребления, а к 2030 году эта доля может возрасти до 2,5 % [1]. По оценкам IRENA [2], к 2040 году потребление ЭЭ ЭЭИ может достичь 3200-4590 ТВт·ч, при этом рост пиковой нагрузки составит 9-20 %.

Рынок электротранспорта (ЭТ) и ЭЭИ в Российской Федерации находится на начальном этапе развития. По состоянию на середину 2025 года в России зарегистрировано порядка 65,2 тыс. электромобилей и 73,2 тыс. подключаемых гибридов [3]. По различным оценкам в масштабах энергосистемы годовое электропотребление ЭЭИ составляет всего 0,005-0,045 % [4, 5], однако в будущем прогнозируется увеличение этой доли до 1,41-18,38 % в 2030 году и 12,30-35,34 % в 2050 году [6, 7].

Для рационального планирования развития ЭЭИ и разработки решений для снятия возможных ограничений на технологическое присоединения электротранспортных станций электромобилей (ЭЭС) к электрической сети важна оценка ожидаемого роста нагрузок со стороны ЭЭИ. Однако рынок ЭТ и ЭЭИ характеризуется множеством параметров, влияющих на уровень электропотребления. Как будет показано в литературном обзоре, существующие прогнозы развития рынка ЭТ в России являются в высокой степени неопределенными, а многие параметры парка ЭТ и ЭЭИ не учтены, что затрудняет оценку ожидаемого роста нагрузок на электросетевой комплекс. В связи с этим, целью настоящего исследования является анализ значимости влияния параметров парка ЭТ и ЭЭИ на величину потребления ЭЭ и мощности энергосистемы Российской Федерации.

В отличие от существующих исследований, опирающихся в прогнозах развития рынка ЭТ главным образом на количество электромобилей, в данной работе проводится сценарный анализ ожидаемых электрических нагрузок ЭЭИ в зависимости от значений таких параметров парка ЭТ и ЭЭИ, как: структура парка ЭТ, доля электротакси в таксопарке, доля подключаемых гибридов, коэффициент использования подключаемых гибридов, количество ЭТ на ЭЭС, доля быстрых ЭЭС и доля владельцев ЭТ с доступом к

домашней ЭЭС.

**Литературный обзор (Literature Review)**

На сегодняшний день основным нормативным документом, определяющим планы развития рынка ЭТ в России является Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Концепция) [8], утвержденная в 2021 году. Прогноз развития рынка ЭТ выполнен для трех сценариев (инерционный, сбалансированный, ускоренный) и предусматривает достаточно широкий диапазон вариации размера парка ЭТ в 2030 году от 514 тыс. до 3,43 млн шт. Стоит отметить, что по состоянию на середину 2025 года, развитие рынка ЭТ в России соответствует инерционному сценарию Концепции.

За прошедшие годы множество авторов провели собственные исследования для расширения и уточнения прогноза Концепции. В таблице 1 представлен обзор прогнозов развития рынка ЭТ и ЭЗИ, опубликованных в период с 2021 по 2025 гг.

Таблица 1  
Table 1

Обзор прогнозов развития рынка электромобилей в России  
Overview of forecasts for the development of the electric vehicle market in Russia

| Ссылка | Год публикации прогноза | Прогноз размера парка ЭТ по годам (тыс. шт.) |             |            |            |             |
|--------|-------------------------|--|-------------|------------|------------|-------------|
|        |                         | 2030   | 2035        | 2040       | 2045       | 2050        |
| [8]    | 2021                    | 540–3430                                     | -           | -          | -          | -           |
| [9]    | 2021                    | 1500–3600                                    | -           | -          | -          | -           |
| [10]   | 2022                    | 2671–6143                                    | 8120–12900  | -          | -          | -           |
| [11]   | 2022                    | 126–5820                                     | -           | -          | -          | -           |
| [12]   | 2023                    | 137–688                                      | -           | -          | -          | -           |
| [13]   | 2023                    | 990.46                                       | -           | 5400       | -          | 5600        |
| [6]    | 2023                    | 1480   | -           | 9101–22903 | -          | 16753-44356 |
| [14]   | 2024                    | 446-1093                                     | -           | -          | -          | -           |
| [15]   | 2024                    | 700-1100                                     | -           | -          | 5800-13600 | -           |
| [7]    | 2024                    | 12000  | -           | 27000      | -          | 42000       |
| [16]   | 2024                    | 252-756                                      | -           | 669-2008   | -          | 1166-3497   |
| [17]   | 2025                    | 628,3-973.5                                  | 1213,5-3151 | -          | -          | -           |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Прогнозы размера парка ЭТ (табл. 1) дополнительно приведены на рисунке 1.

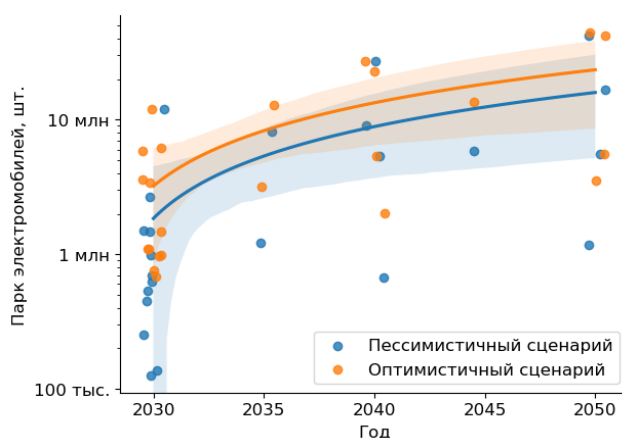


Рис. 1. Прогнозы развития рынка электротранспорта России до 2050 года, выполненные разными авторами (табл. 1)

Fig. 1. Forecasts of electric transport market development in Russia until 2050, produced by different authors (Table 1)

\*Источник: [6-17] Source: [6-17].

Как следует из представленных данных (табл. 1, рис. 1), прогнозы развития рынка ЭТ, выполненные разными авторами, существенно различаются: среднее отклонение прогнозов на 2030 год составляет более 100 %. Кроме того, диапазоны изменения размера парка ЭТ между пессимистичным и оптимистичным сценариями могут достигать 600 % и более, что говорит об очень высокой степени неопределенности развития рынка ЭТ в России.

На основании анализа представленных данных получены следующие

агрегированные оценки ожидаемого размера парка ЭТ:

– 2030 год: от 126 тыс. до 12 млн шт. (среднее: от 1789 тыс. до 3172 тыс. шт.; медиана: от 664 тыс. до 1290 тыс. шт.);

– 2040 год: от 669 тыс. до 27 млн шт. (среднее: от 10,54 млн до 14,32 млн шт.; медиана: от 7,25 млн до 14,15 млн шт.);

– 2050 год: от 1166 тыс. до 44 млн шт. (среднее: от 16,38 млн до 23,86 млн шт.; медиана: от 11,17 млн до 23,80 млн шт.).

В большинстве работ выполнен прогноз размера парка ЭТ, но не уделено достаточного внимания другим важным показателям, характеризующим парк ЭТ и ЭЗИ. В ряде работ рассматривается структурный состав парка ЭТ с детализацией количества легковых электромобилей, ЛКТ, электробусов и грузовых электромобилей: возможная доля ЛКТ оценивается до 18 %; электробусов – до 10 %; грузовых ЭТ – до 15 %. В отдельных работах отмечаются показатели ЭЗИ – количество ЭТ на одну ЭЗС и доля быстрых ЭЗС, которые составляют от 7 до 36,7 ЭТ на одну ЭЗС при доле быстрых ЭЗС от 15 % до 60 %.

Также важным параметром парка ЭТ является доля электротакси в таксопарке. Согласно докладу автономной некоммерческой организации «Международный Евразийский форум «Такси» [18], по состоянию на 2025 год в 37 % регионов России в таксопарках имеются электромобили, примерное количество электромобилей в такси составляет 1850 шт. (около 2,84 %).

Следует также отметить, что в ни одном из прогнозов не рассматривается рынок подключаемых гибридов. В связи с этим, влияние парка подключаемых гибридов на электроэнергетическую систему России остается недостаточно исследованным.

Для определения возможных диапазонов вариации основных показателей парка ЭТ и ЭЗИ важно проанализировать международный опыт. На рисунках 2 и 3 представлены диаграммы основных параметров парк ЭТ (структурный состав, доля подключаемых гибридов) и ЭЗИ (количество ЭТ на одну ЭЗС, доля быстрых ЭЗС) в разных странах мира, построенные на основе данных IEA [19].

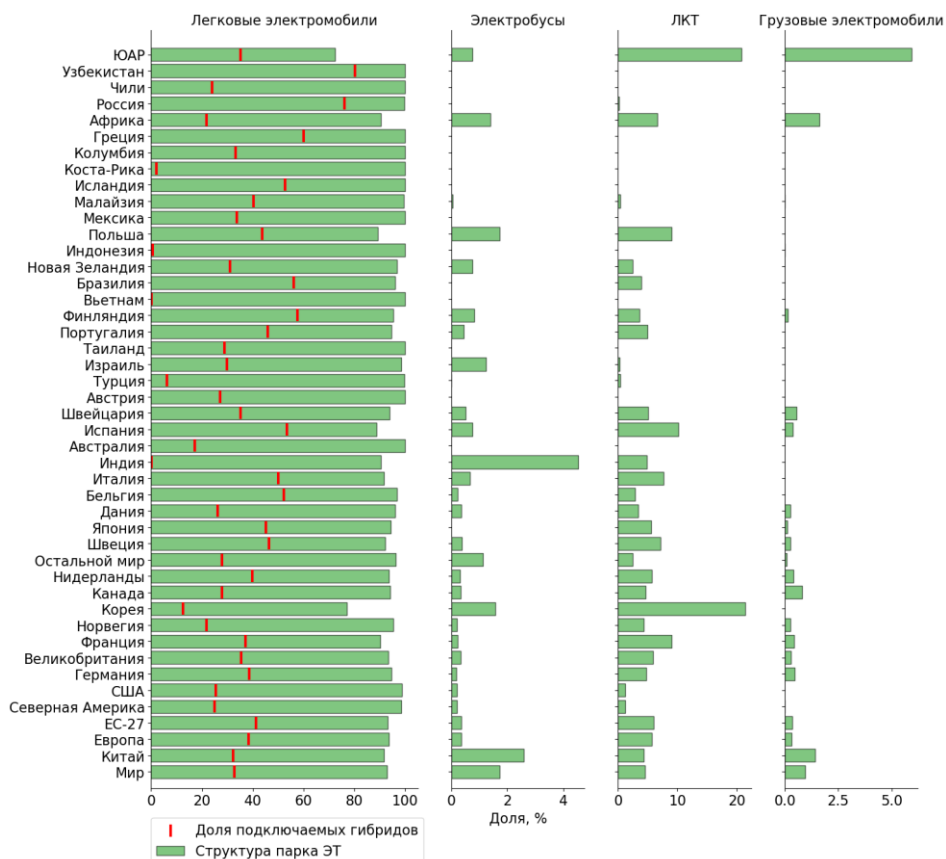


Рис. 2. Столбчатая диаграмма структурного состава парка ЭТ в разных странах мира [19]: (а) легковые электромобили; (б) легкий коммерческий транспорт; (в) электробусы; (г) грузовые электромобили

Fig. 2. Bar chart of the structural composition of electric transport fleets in different countries worldwide: (a) passenger electric vehicles; (b) light commercial vehicles; (c) electric buses; (d) electric trucks

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

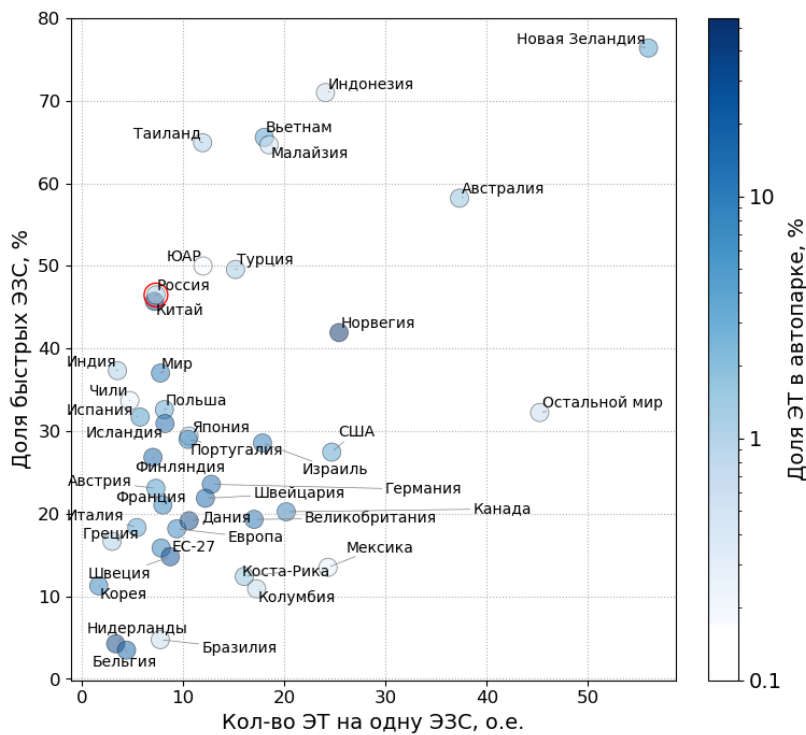


Рис. 3. Диаграмма рассеяния количества ЭТ на одну ЭЭС и доли быстрых ЭЭС в разных странах мира  
 Fig. 3. Scatter plot of the number of electric vehicles per charging station and the share of fast charging stations in different countries worldwide

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как следует из рисунков 2 и 3, структура парка ЭТ и ЭЗИ значительно различается в разных странах:

- количество ЭТ на одну ЭЭС варьируется от 1,68 в Корее до 56 в Новой Зеландии (среднемировой показатель – 7,78);
- доля быстрых ЭЭС варьируется от 3,41 % в Бельгии до 76,38 % в Новой Зеландии (среднемировой показатель – 37 %)
- наибольшая доля электробусов достигает 4,53 % в Индии; ЛКТ – до 21,39 % в Корее; грузовых электромобилей – до 5,93 % в Южной Африке.

На сегодняшний день ЭЗИ Российской Федерации характеризуется следующими показателями [20]: 7,33 ЭТ на одну ЭЭС; доля быстрых ЭЭС – 46,5 %. По данным показателям мы находимся ближе всего к таким странам, как Китай, ЮАР, Турция.

Стоит отметить, что показатели могут также существенно различаться между отдельными городами внутри страны. Например, в работе [21] выполнен прогноз развития парка ЭТ и ЭЗИ на примере Москвы. По результатам анализа оптимальное количество ЭЭС на 1000 электромобилей в Москве составило 16,7 для быстрых и 97,1 для медленных ЭЭС. При этом в крупных городах мира эти показатели варьируются в достаточно широких пределах от 20,4 (Пекин) до 1428,6 (Амстердам) ЭТ на одну медленную ЭЭС и от 5,7 (Осло) до 59,9 (Шанхай) ЭТ на одну быструю ЭЭС.

Согласно прогнозу развития ЭЗИ до 2030 года, представленному в отчете IEA [1], домашний заряд останется предпочтительным способом заряда ЭТ. В период с 2025 по 2030 гг. ожидается ввод около 150 млн ЭЭС по всему миру, около 67 % которых будут являться домашними ЭЭС. При этом к 2030 году из 205 млн ЭЭС около 132 млн (64,3 %) будут относиться к домашним ЭЭС.

Согласно [22], в США 86 % владельцев ЭТ имеют доступ к домашней ЭЭС, однако, порядка 59,6 % продолжают использовать общественную ЭЗИ еженедельно. Прогноз развития ЭЗИ США предусматривает 28 млн ЭЭС в 2030 году, из которых 25,7 млн (91,7 %) домашние ЭЭС.

По данным [23], в среднем около 50 % зарядных сессий выполняются дома. В отдельных странах эта доля составляет: США – 48 %; Великобритания – 52 %; Германия – 46 %; Франция – 46 %; Швеция – 57 %; Дания – 53 %; Нидерланды – 48 %.

Однако доступность домашних ЭЭС в значительной степени определяется жилищными условиями владельцев ЭТ. Например, в Китае высокая доля населения проживает в многоквартирных домах (МКД), что затрудняет установку индивидуальной

домашней ЭЭС. Доступ к домашней ЭЭС в Китае имеет всего порядка 31 % владельцев ЭТ. В то же время, в Великобритании доля населения, проживающая в квартирах МКД, менее 25 %, а доступность домашнего заряда – 90 % [24]. В России порядка 59-64,3 % владельцев ЭТ имеют доступ к домашней ЭЭС, а доля домашних зарядных сессий составляет 72 % [25, 26].

Представленный литературный обзор позволяет определить диапазоны прогнозных значений размера парка ЭТ, а также установить диапазоны изменения основных параметров парка ЭТ и ЭЗИ в разных странах мира и выявить особенности развития отечественного рынка ЭТ.

**Материалы и методы (Materials and methods)**

Для анализа влияния параметров парка ЭТ и ЭЗИ на электроэнергетическую систему разработана математическая модель, структурная схема которой показана на рисунке 4.

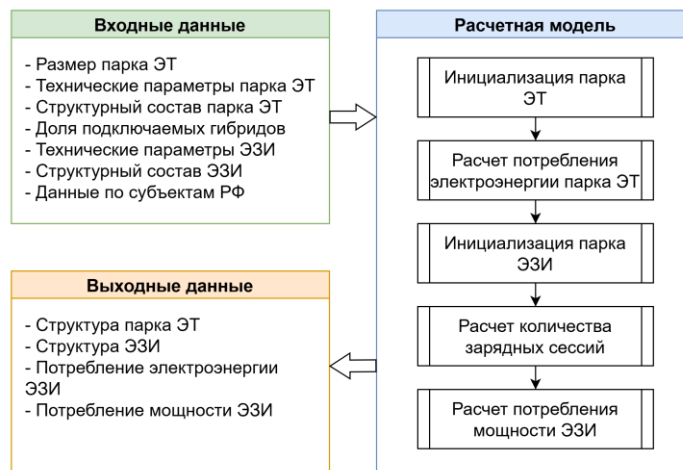


Рис. 4. Структурная схема математической модели Fig. 4. Structural diagram of the mathematical model

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Результатом расчета является суммарный отпуск электроэнергии на заряд парка ЭТ и максимальная потребляемая мощность ЭЗИ для каждого города Российской Федерации с населением более 50 тыс. человека.

На первом этапе расчета выполняется инициализация парка ЭТ и его распределение по субъектам Российской Федерации. Для регионального распределения использованы открытые данные о региональном составе парка ЭТ [27], а также сведения о населении и количестве легковых автомобилей [28] (табл. 2).

Таблица 2 Table 2

Варианты регионального распределения парка ЭТ Options for regional distribution of the electric vehicles fleet

| №  | Наименование субъекта     | а) ДВС, % | б) ЭТ, % |
|----|---------------------------|-----------|----------|
| 1  | Дальневосточный ФО        | 5,90      | 12,50    |
| 2  | Приволжский ФО            | 20,00     | 9,60     |
| 3  | Северно-западный ФО       | 10,10     | 9,30     |
| 4  | Северно-кавказский ФО     | 5,00      | 1,70     |
| 5  | Сибирский ФО              | 11,30     | 13,50    |
| 6  | Уральский ФО              | 8,90      | 6,10     |
| 7  | Южный ФО                  | 10,10     | 9,50     |
| 8  | Центральный ФО            | 28,80     | 37,80    |
| 9  | в т.ч. Москва             | 8,70      | 24,67    |
| 10 | в т.ч. Московская область | 6,20      | 7,72     |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Анализ показал, что распределение ЭТ по отдельным регионам значительно отличается от распределения автомобилей с ДВС. Наибольшие различия наблюдаются в Дальневосточном, Приволжском, Северо-Кавказском и Центральном федеральных округах (ФО). Наблюдаемые различия могут объясняться логистикой поставок ЭТ

(большое количество японских ЭТ на Дальнем востоке), уровнем доходов населения и климатическими факторами. Однако с ростом парка и широким распространением ЭТ региональное распределение может стремиться к распределению автомобилей с ДВС. В связи с этим, расчет выполнен для двух вариантов регионального распределения, представленных в таблице 2.

Региональное распределение парка ЭТ выполняется в два этапа: между федеральными округами на основании долей, приведенных в таблице 2; между городами (отдельно для каждого федерального округа) на основании распределения автомобилей с ДВС (ввиду отсутствия иных данных).

На втором этапе выполняется расчет потребления ЭЭ всего парка согласно следующему выражению:

$$W_r = \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^m \left[ M_{r,i} \sum_{j=1}^k (UF_{i,j} C_{r,i,j} N_{r,i,j}) \right], \quad (1)$$

где  $W_r$  – годовое потребление ЭЭ парка ЭТ региона  $r$ , кВт·ч;  $\eta$  – КПД заряда батареи (принято равным 0,95), о.е.;  $m$  – количество категорий транспортных средств (ТС), шт.;  $k$  – количество типов ЭТ, шт. (легковое ТС, ЛКТ, электробус, грузовое ТС);  $M_{r,i}$  – годовой пробег ТС категории  $i$  в регионе  $r$ , км;  $C_{r,i,j}$  – средний расход заряда батареи ЭТ типа  $j$  категории  $i$  в регионе  $r$ , кВт·ч/км;  $N_{r,i,j}$  – количество ЭТ типа  $j$  категории  $i$  в регионе  $r$ , шт.;  $UF_{i,j}$  – коэффициент использования подключаемого гибрида типа  $j$  категории  $i$  (для электромобилей равен 1), о.е.

Значения годового пробега ТС  $M_{r,i}$  принято согласно приложению №8 Положения Банка России «О единой методике определения размера расходов на восстановительный ремонт в отношении поврежденного транспортного средства» [29]. В документе представлены справочные данные о среднегодовых пробегах ТС следующих категорий (для всех субъектов Российской Федерации): легковые ТС физических лиц; легковые ТС юридических лиц; грузовые ТС; такси и автобусы.

Средний расход заряда батареи ЭТ  $C_{r,i,j}$  принят на основании средневзвешенных значений технических параметров наиболее распространенных моделей ЭТ в России по данным [30] для следующих типов ЭТ: легковые ТС; ЛКТ; электробусы; грузовые ТС (табл. 3). Технические параметры легковых ЭТ и ЛКТ приняты по данным портала ev database [31], для определения параметров электробусов выполнено усреднение характеристик отечественных моделей КАМАЗ-6282, КАМАЗ-6292, ЛиАЗ-6274, Volgabus-5270.E0, для грузовых ЭТ использовались параметры моделей BROCK 75, BROCK 160, Dongfeng Captain-T.

Расход заряда батарей скорректирован с учетом среднегодовой температуры воздуха рассматриваемого региона. Зависимость расхода заряда батарей ЭТ от температуры воздуха носит U-образный характер с минимумом в районе 21°C [32]. Электропотребление ЭТ в основном определяется энергией, необходимой для приведения ЭТ в движение, а также работой электроприемников собственных нужд, к которым относятся: система отопления, вентиляции и кондиционирования, система управления температурой батареи и прочие электроприемники (освещение, развлекательные системы, навигация и т.д.). В работе [32] показано, что электропотребление ЭТ в диапазоне температур от 0 до 32°C в основном определяется работой системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Снижение температуры воздуха с 28 °C до -22 °C приводит к увеличению электропотребления ЭТ на 233 % [33]. Следует отметить, что характер зависимости электропотребления от температуры воздуха в указанном диапазоне температур близок к линейному. В связи с этим, в настоящей работе для уточнения влияния температуры воздуха на электропотребление ЭТ используется линейная зависимость, построенная по двум известным значениям удельного электропотребления (по данным портала ev database [31]) при температуре воздуха 23 °C и -10 °C (табл. 3).

Среднегодовая температура воздуха в регионах Российской Федерации может варьироваться в широких пределах от -8,51 °C (Норильск) до 15,06 °C (Новороссийск), что приводит к значительному изменению среднего расхода заряда батарей ЭТ – более 40 Вт·ч/км (22,26 % относительно среднего значения). Среднегодовая температура воздуха регионов принята на основании усреднения данных NASA POWER за период с 01.01.2020 по 01.01.2025.

В связи с ограниченным распространением подключаемых гибридов в категориях ЛКТ, электробусов и грузовых ТС, как в настоящее время, так и в прогнозах до 2030 года (по данным IEA [24]), в расчете принято, что подключаемые гибриды используются

только как легковые ТС физических лиц.

Важным параметром подключаемых гибридов является коэффициент использования ( $UF$ ). Под коэффициентом использования понимают отношение пробега, пройденного только за счет заряда батареи, к общему пробегу ТС. Величина коэффициента использования зависит от полностью электрического запаса хода гибрида (all-electric range) и зарядного поведения. Согласно [34], реальный коэффициент использования гибридных транспортных средств в среднем составляет порядка 0,37-0,54. В работе [35] выполнено исследование влияния зарядного поведения, пробега и запаса хода на коэффициент использования подключаемых гибридов. Полученные в данной работе зависимости используются в настоящем исследовании для определения диапазона изменения коэффициента использования подключаемых гибридов.

Таблица 3  
Table 3

Средневзвешенные параметры наиболее распространенных моделей ЭТ в России  
Weighted average parameters of the most demanded electric vehicles models in Russia

| № | Тип ТС                        | Емкость батареи, кВт·ч | Средний расход заряда батареи, Вт·ч/км |                          | Мощность заряда, кВт |               |
|---|-------------------------------|------------------------|--|--------------------------|----------------------|---------------|
|   |                               |                        | Теплая погода (+23 °С)                 | Холодная погода (-10 °С) | Медленный заряд      | Быстрый заряд |
| 1 | Легковые электромобили        | 76,48                  | 150,72                                 | 207,34                   | 13,54                | 141,99        |
| 2 | ЛКТ                           | 81,04                  | 223,60                                 | 287,60                   | 11,00                | 137,00        |
| 3 | Электробусы                   | 344,94                 | 1568,62                                | 2147,59                  | 21,67                | 231,17        |
| 4 | Грузовые электромобили        | 125,25                 | 371,24                                 | 508,26                   | 10,75                | 60,43         |
| 5 | Легковые подключаемые гибриды | 38,55                  | 194,59                                 | 251,20                   | 6,87                 | 83,57         |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

На третьем этапе выполняется инициализация парка ЭЗИ, определение загрузки ЭЗИ и расчет потребления мощности. Расчет количества ЭЗС выполняется на основании заданного количества ЭТ на одну ЭЗС, а структурный состав ЭЗИ определяется по заданной доле быстрых ЭЗС.

Номинальные мощности ЭЗС приняты по результатам обследования ЭЗИ в крупных городах Российской Федерации на основании сведений, размещенных в картографических сервисах 2ГИС и 2chargers (сбор данных выполнен в 2024 году для 46 городов, в т.ч. Москвы и Санкт-Петербурга). По результатам анализа собранных данных установлена структура номинальных мощностей ЭЗС, представленная на рисунке 5.

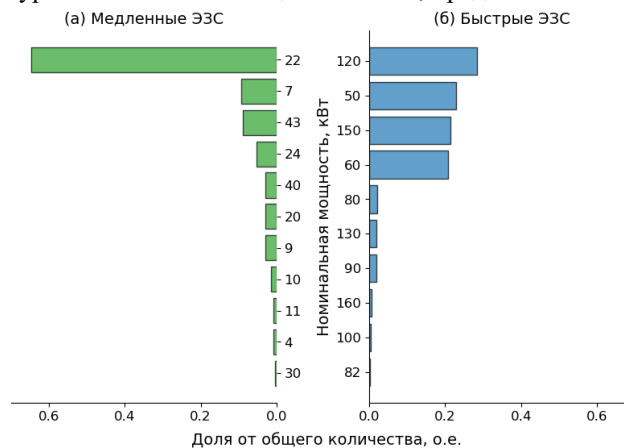


Рис. 5. Структура номинальных мощностей медленных (а) и быстрых (б) ЭЗС  
Fig. 5. Structure of the rated power of slow (a) and fast (b) charging stations

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Потребление мощности ЭЗИ определяется по выражению:

$$P_{\max,r} = K_{nc} \sum_{g=1}^G P_{\text{ном},g} n_g K_{c,g} (P_{\text{ном},g}, n_g, s_g) K_{и,g}, \quad (2)$$

где  $P_{\max,r}$  – расчетный максимум нагрузки ЭЗИ в регионе  $r$ , кВт;  $P_{\text{ном},g}$  – номинальная мощность  $g$ -й группы ЭЭС, кВт;  $n_g$  – размер  $g$ -й группы ЭЭС, шт.;  $s_g$  – среднее количество сессий в сутки  $g$ -й группы ЭЭС, шт.;  $K_{c,g}(P_{\text{ном},g}, n_g, s_g)$  – коэффициент спроса  $g$ -й группы ЭЭС, о.е.;  $K_{н,g}$  – коэффициент использования  $g$ -й группы ЭЭС, о.е. (определяется на основании соотношения между максимальной мощностью заряда ЭТ и номинальной мощностью ЭЭС);  $K_{нс}$  – коэффициент несовпадения максимумов нагрузки разнородных групп ЭЭС, о.е.;  $G$  – количество рассматриваемых групп ЭЭС, шт.

Расчет коэффициента спроса для ЭЭС  $K_{c,g}$  выполнен на основании методики, предложенной в работе [36]. Согласно данной методике, коэффициент спроса определяется на основании номинальной мощности, количества зарядных портов и среднего числа сессий в сутки группы ЭЭС. Коэффициент несовпадения максимумов нагрузки разнородных групп ЭЭС  $K_{нс}$  принят равным 0,868 согласно [36]. Для расчета среднего числа сессий в сутки используется следующее выражение:

$$s = \frac{W_j}{E_j DoD}, \quad (3)$$

где  $W_j$  – годовой отпуск электроэнергии на заряд ЭТ группы  $j$ , кВт·ч;  $E_j$  – средневзвешенная емкость батареи ЭТ группы  $j$ , кВт·ч; DoD – глубина разряда батареи (принято равной 0,8).

Диапазоны изменения параметров парка ЭТ и ЭЗИ, рассмотренные при моделировании, приведены в таблице 4. Для каждой переменной (кроме «Параметры ЭТ») указано три варианта значения (соответствующих трем возможным сценариям): первое значение соответствует нижнему пределу изменения рассматриваемого параметра; второе значение соответствует середине предела изменения рассматриваемого параметра; третье значение соответствует верхней границе изменения рассматриваемого параметра. Значения приняты на основании текущих показателей развития парка ЭТ и ЭЗИ в России, на основании анализа показателей других стран мира или по целевым показателям Концепции. Следует отметить, что вариация данных показателей рассматривается независимо друг от друга.

Таблица 4

Table 4

Диапазоны изменения значений влияющих факторов  
Ranges of change in the values of influencing factors

| № | Наименование   | Обозначение переменной                | Значение  | Описание сценария   |
|---|--|---------------------------------------|---|---|
| 1 | Структурный состав парка ЭТ:<br>а) легковые ТС;<br>б) ЛКТ;<br>в) электробусы;<br>г) грузовые ТС. | а) LDV<br>б) LCV<br>в) eBus<br>г) HDV | а) 95 %<br>б) ~0 %<br>в) 4,8 %<br>г) 0,2 %        | Сохранение текущих показателей  |
|   |  |                                       | а) 92,80 %<br>б) 4,52 %<br>в) 1,73 %<br>г) 0,95 % | Развитие в соответствии со среднемировыми показателями  |
|   |  |                                       | а) 84,43 %<br>б) 7,82 %<br>в) 1,05 %<br>г) 6,70 % | Достижение показателей Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 года [10] |
| 2 | Доля электротакси в таксопарке   | taxi                                  | 0,25 %  | Сохранение текущих показателей  |
|   |  |                                       | 2,5 %   | Умеренный рост доли электротакси  |
|   |  |                                       | 10 %  | Значительный рост доли электротакси   |
| 3 | Доля подключаемых гибридов   | phev                                  | 35 %  | Развитие согласно среднемировому уровню   |
|   |  |                                       | 60 %  | Сохранение текущих показателей  |
|   |  |                                       | 80 %  | Сохранение текущего тренда на увеличение доли гибридов  |
| 4 | Коэффициент использования подключаемых гибридов  | UF                                    | 30 %  | Минимальное использование ЭЗИ (около 30 % гибридов заряжаются перед поездкой)                                 |
|   |  |                                       | 50 %  | Умеренное использование ЭЗИ (около 50 % гибридов заряжаются перед поездкой)                                   |
|   |  |                                       | 94 %  | Максимальное использование ЭЗИ (100 % гибридов заряжаются ночью, 30 % заряжаются в течение дня)               |

|   |                                   |               |       |   |
|---|-----------------------------------|---------------|-------|---|
| 5 | Количество ЭТ на одну ЭЭС         | ev_to_evse    | 4,62  | Развитие в соответствии со средним показателем стран, входящих в 1-й квартиль по данной переменной  |
|   |                                   |               | 10,00 | Развитие в соответствии с целевыми показателями Концепции   |
|   |                                   |               | 29,37 | Развитие в соответствии со средним показателем стран, входящих в 4-й квартиль по данной переменной  |
| 6 | Доля быстрых ЭЭС                  | fast_evse     | 11 %  | Развитие в соответствии со средним показателем стран, входящих в 1-й квартиль по данной переменной  |
|   |                                   |               | 40 %  | Развитие в соответствии с целевыми показателями Концепции   |
|   |                                   |               | 60 %  | Развитие в соответствии со средним показателем стран, входящих в 4-й квартиль по данной переменной  |
| 7 | Доля ЭТ с доступом к домашней ЭЭС | home_charging | 30 %  | Увеличение доли владельцев ЭТ, проживающих в МКД (снижение показателя до уровня Китая)  |
|   |                                   |               | 60 %  | Сохранение текущих показателей  |
|   |                                   |               | 90 %  | Рост рынка ЭТ при замедлении развития общественной ЭЗИ (увеличение показателя до уровня стран с максимальной долей владельцев домашних ЭЭС – США, Великобритания) |
| 8 | Параметры ЭТ                      | fleet_params  | 0     | Параметры ЭТ соответствуют табл. 3  |
|   |                                   |               | 1     | Максимальная мощность быстрого и медленного заряда превышает номинальную мощности ЭЗИ   |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Переменная «Параметры ЭТ» характеризует максимальную мощность заряда ЭТ и влияет на коэффициент использования при расчете потребления мощности ЭЭС по выражению (2).

В работе выполнен расчет потребления электроэнергии и мощности ЭЗИ для всех городов Российской Федерации с населением более 50 тыс. человек во всем диапазоне изменения значений влияющих факторов, указанных в таблице 4. Результаты расчета были агрегированы по субъектам Российской Федерации и выражены в процентах относительно значений потребления электроэнергии и мощности региональных энергосистем на 2024 год, представленных в схемах и программах развития электроэнергетических систем России на 2025-2030 годы (СИПР ЭЭС).

Оценка значимости влияющих факторов выполнена с помощью коэффициентов уравнения множественной линейной регрессии. В качестве целевой переменной для множественной линейной регрессии ( $y$ ) использована величина отклонения расчетных значений потребления электроэнергии и мощности ( $A_i$ ) от аналогичных значений, рассчитанных при влияющих факторах, принятых равными середине диапазона их вариации (табл. 4) ( $A_0$ ):

$$y = \frac{A_i - A_0}{A_0}. \quad (4)$$

#### Анализ значимости факторов

На рисунке 6 приведены усредненные графики влияния исследуемых факторов на потребление ЭЭ и мощности ЭЗИ при размере парка ЭТ 1 млн шт. Значения выражены в процентах относительно потребления ЭЭ и мощности ЭЭС за 2024 год по данным СИПР ЭЭС.

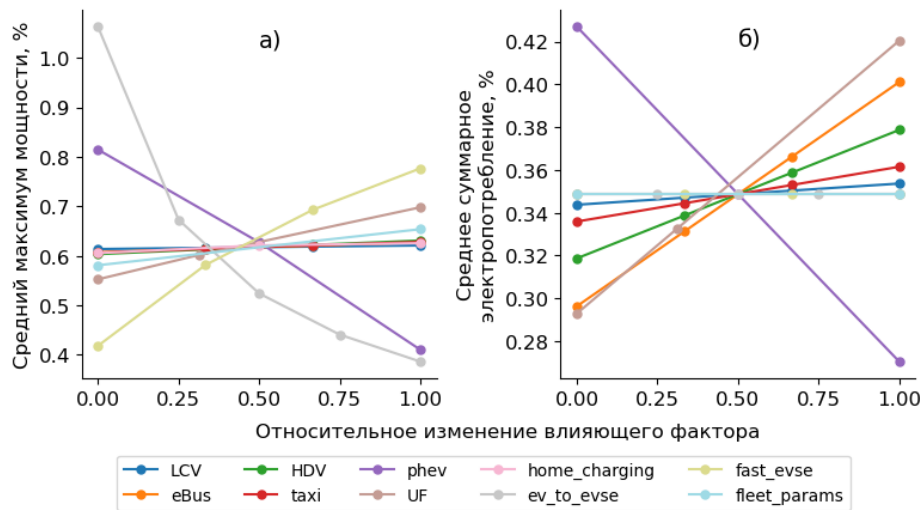


Рис. 6. Усредненные зависимости максимума мощности (а) и потребления ЭЭ ЭЗИ (б) на уровне ЕЭС (выражено в процентах относительно потребления ЭЭ и мощности ЕЭС в 2024 году по данным СИПР ЭЭС) от относительного значения влияющих факторов (0 – левая граница диапазона вариации; 1 – правая граница диапазона вариации согласно таблице 4)

Fig. 6. Averaged dependencies of the maximum power (a) and electricity consumption of electric vehicle infrastructure (b) at the level of the power system (expressed as a percentage relative to electricity consumption and power of the power system in 2024 according to data from the System and Program for the Development of the Unified Energy System) on the relative values of influencing factors (0 – left boundary of the variation range; 1 – right boundary of the variation range according to Table 4)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В таблице 5 приведены коэффициенты уравнения множественной линейной регрессии и относительные значимости, полученные на основе расчетных данных об изменении потребления ЭЭ и мощности ЭЗИ при вариации влияющих факторах в диапазонах, описанных в таблице 4. По результатам обучения моделей множественной линейной регрессии получены следующие показатели:

- Максимум мощности на уровне ЕЭС –  $R^2 = 0,832$  ( $p < 0,01$ );
- Потребление ЭЭ на уровне ЕЭС –  $R^2 = 0,929$  ( $p < 0,01$ ).

На рисунке 7 приведена визуализация относительной значимости признаков.

Таблица 5  
Table 5

Значение коэффициентов множественной линейной регрессии  
Values of multiple linear regression coefficients

| Наименование влияющего фактора | Максимум мощности на уровне ЕЭС |            | Потребление ЭЭ на уровне ЕЭС |            |
|--------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                                | Коэффициент                     | Значимость | Коэффициент                  | Значимость |
| ev_to_evse                     | -0,035                          | 0,371      | 0                            | 0          |
| phev                           | -1,243                          | 0,237      | -0,689                       | 0,323      |
| fast_evse                      | 1,005                           | 0,208      | 0                            | 0          |
| UF                             | 0,313                           | 0,085      | 0,395                        | 0,263      |
| fleet_params                   | 0,101                           | 0,043      | 0                            | 0          |
| HDV                            | 0,566                           | 0,016      | 1,776                        | 0,124      |
| taxi                           | 0,404                           | 0,013      | 0,677                        | 0,053      |
| eBus                           | 1,612                           | 0,012      | 12,006                       | 0,216      |
| home_charging                  | 0,043                           | 0,012      | 0                            | 0          |
| LCV                            | 0,13                            | 0,004      | 0,251                        | 0,02       |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

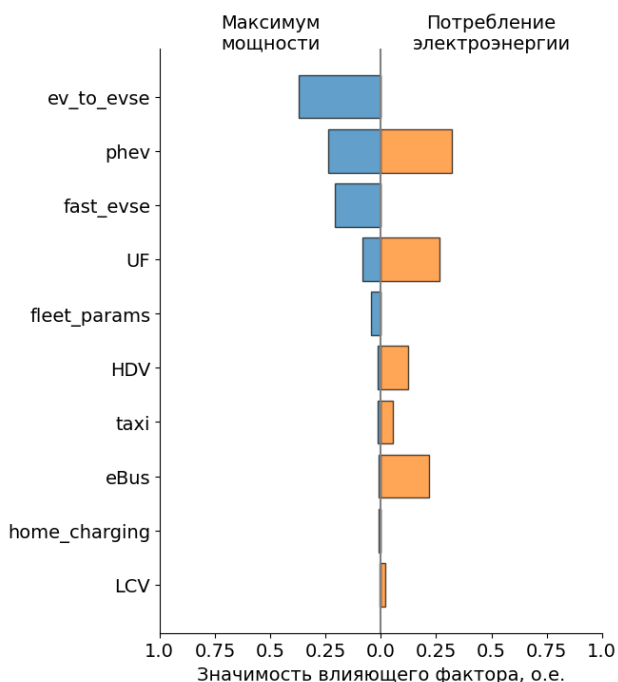


Рис. 7. Диаграмма значимости влияющих факторов Fig. 7. Feature importance plot

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как следует из проведенных расчетов, параметры парка ЭТ и ЭЗИ оказывают существенное влияние на электроэнергетическую систему. При размере парка ЭТ 1 млн шт. потребление ЭЭ ЭЗИ на уровне ЕЭС может составить от 1688,74 до 7227,25 млн кВт·ч (от 0,14 % до 0,62 % потребления ЭЭ ЕЭС за 2024 год), а максимум мощности от 158,32 до 3847,97 МВт (от 0,09 % до 2,26 % максимума потребления мощности ЕЭС за 2024 год) при вариации влияющих факторов в рассмотренных диапазонах (табл. 4).

Наибольшее влияние на максимум мощности оказывают параметры ЭЗИ (количество ЭТ на одну ЭЭС – 37,1 %, доля быстрых ЭЭС – 20,8 %) и доля подключаемых гибридов (23,7 %). Структура парка ЭТ не оказывает заметного влияния на максимум мощности, как и доля владельцев ЭТ, имеющих доступ к домашней ЭЭС. Несмотря на снижение среднего числа сессий на общественных ЭЭС при увеличении доли домашнего заряда, уменьшение максимума мощности общественной ЭЗИ компенсируется ростом мощности домашних ЭЭС. Коэффициент использования подключаемых гибридов и параметры ЭТ оказывают слабое влияние на потребление мощности ЭЗИ.

Наибольшее влияние на потребление ЭЭ оказывают параметры парка ЭТ: коэффициент использования и доля подключаемых гибридов (32,3 %, 26,3 %), а также структура парка ЭТ (доля электробусов – 21,6 % и грузовых ТС – 12,4 %). Параметры ЭЗИ ожидаемо не влияют на потребление ЭЭ.

На потребление ЭЭ и мощности ЭЗИ на уровне региональных энергосистем существенное влияние оказывает региональная структура парка ЭТ. В настоящей работе были рассмотрены два варианта регионального распределения парка: в соответствии с текущим распределением парка ЭТ и в соответствии с распределением ТС с ДВС (табл. 2). Результаты расчета приведены в таблице 6. Расчет выполнен при размере парка ЭТ 1 млн шт., значения влияющих факторов приняты равными середине диапазона их вариации, представленного в таблице 4.

Потребление ЭЭ и мощности ЭЗИ в региональных энергосистемах в зависимости от регионального распределения парка ЭТ (в скобках значения выражены в процентах относительно соответствующего регионального потребления ЭЭ и мощности по данным СИПР ЭЭС на 2024 г.)

*Electricity consumption and power of the EVCI in regional energy systems depending on the regional distribution of the electric vehicles fleet (values in parentheses are expressed as percentages relative to the corresponding regional electricity consumption and power according to SIPR EES data for 2024)*

| №                                       | Региональное потребление ЭЭ,<br>млн кВт·ч | Региональный максимум<br>мощности, МВт |
|---|---|--|
| Региональное распределение а) (табл. 2) |   |  |
| 1                                       | Тамбовская область – 57,4 (1,6 %)         | Тамбовская область – 12,4 (2,04 %)     |
| 2                                       | Тыва – 13,1 (1,34 %)                      | Ингушетия – 4,1 (1,8 %)                |
| 3                                       | Ингушетия – 17,6 (1,26 %)                 | Тыва – 3,0 (1,69 %)                    |
| 4                                       | Алтай – 8,8 (1,22 %)                      | Кабардино-Балкария – 5,2 (1,59 %)      |
| 5                                       | Брянская область – 51,3 (1,17 %)          | Орловская область – 7,4 (1,49 %)       |
| Региональное распределение б) (табл. 2) |   |  |
| 1                                       | Москва – 1583,5 (2,64 %)                  | Москва – 309,4 (3,06 %)                |
| 2                                       | Тыва – 15,7 (1,6 %)                       | Камчатский край – 6,1 (2,02 %)         |
| 3                                       | Камчатский край – 25,7 (1,48 %)           | Тыва – 3,6 (2,01 %)                    |
| 4                                       | Алтай – 10,5 (1,46 %)                     | Алтай – 2,3 (1,66 %)                   |
| 5                                       | Бурятия – 97,2 (1,44 %)                   | Сахалинская область – 8,3 (1,62 %)     |

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как следует из таблицы 6, наибольший относительный прирост потребления ЭЭ и мощности наблюдается в регионах с низким годовым электропотреблением. Развитие рынка ЭТ в данных регионах окажет наиболее заметное влияние на региональные энергосистемы. Исключением в данном перечне является Москва: в настоящее время значительная доля парка ЭТ сосредоточена в Москве (распределение б), табл. 2), что обуславливает высокую долю электропотребления и мощности ЭЗИ в данном регионе.

#### Прогноз потребления электроэнергии и мощности ЭЗИ

На рисунке 8 представлен прогноз потребления ЭЭ и мощности ЭЗИ в масштабах ЕЭС при размерах парка ЭТ, принятых на основании усреднения рассмотренных в литературном обзоре прогнозов (рис. 1). Значения влияющих факторов приняты равными середине диапазона их вариации (табл. 4), что соответствует сохранению текущих тенденций развития парка ЭТ и ЭЗИ и достижению целевых показателей Концепции.

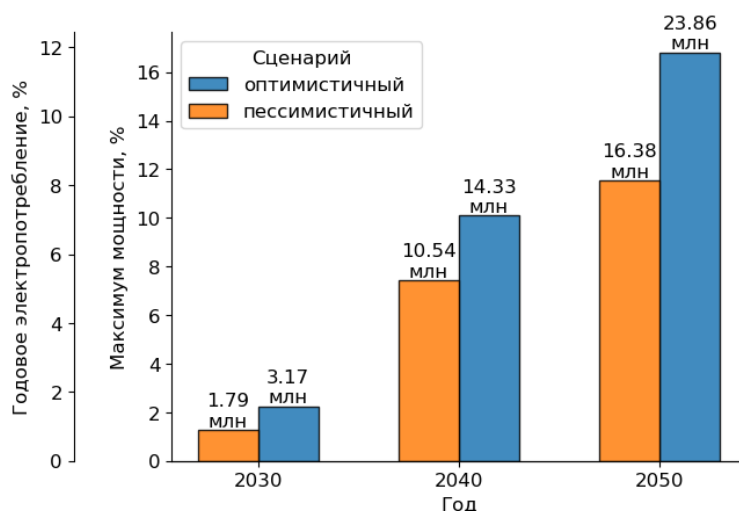


Рис. 8. Прогноз потребления ЭЭ и мощности ЭЗИ в масштабах ЕЭС (в процентах от потребления ЭЭ и мощности ЕЭС за 2024 год) в соответствии с усредненным прогнозом развития рынка ЭТ (рис. 1) (размер парка ЭТ указан над столбцами)

Fig. 8. Forecast of electricity consumption and power of the EV charging infrastructure at the scale of the Unified Energy System (expressed as a percentage of electricity consumption and power of the Unified Energy System in 2024) according to the averaged forecast of the EV market development (Fig. 1) (the size of the EV fleet is indicated above the columns)

\*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как следует из полученных результатов, к 2050 году электропотребление ЭЗИ может составить от 8,13 % до 11,85 %, а максимум мощности от 11,54 % до 16,81 % относительно показателей СИПР ЭЭС за 2024 год, при достижении размера парка ЭТ 16,38-23,86 млн шт. При этом в отдельных региональных энергосистемах прогнозируемое потребление ЭЭ и мощности ЭЗИ может составить 30 % и более.

Необходимо отметить воздействие влияющих факторов: согласно таблице 5, в среднем увеличение отношения количества ЭТ на ЭЭС на 1 приведет к снижению максимума мощности на 3,45 % от исходного значения; увеличение доли подключаемых гибридов на 1 % – к снижению максимума мощности на 1,24 % и потребления электроэнергии на 0,69 %; увеличение доли быстрых ЭЭС на 1 % – к увеличению максимума мощности на 1 % и т.д.

Представленный прогноз потребления ЭЭ соответствует результатам, полученным другими авторами. Согласно пессимистичному сценарию развития рынка ЭТ, приведенному в работе [6], потребление ЭЭ ЭЗИ в 2030 году составит порядка 1,59 %, в 2040 году – 8,03 %, в 2050 году – 14,46 % относительно уровня потребления ЭЭ ЭЭС за 2024 год. В [7] приведены следующие результаты: 2030 год – 3,88 %, 2040 год – 9,06 %, 2050 год – 13,81 %. При этом среднее отклонение относительно прогноза потребления ЭЭ по оптимистичному сценарию развития рынка ЭТ, полученному в настоящей работе (рис. 8), составляет порядка 1,62 процентных пункта.

#### **Обсуждение (Discussions)**

Прогнозируемое потребление ЭЭ ЭЗИ в 2050 году более 10% от годового электропотребления ЭЭС (рис. 8), ставит ЭЗИ в один ряд с крупными отраслями экономики России по величине потребления ЭЭ. Хотя многие влияющие факторы и размер парка ЭТ в ближайшие десятилетия остаются в значительной степени неопределенными, можно сделать вывод о заметном влиянии парка ЭТ и ЭЗИ на электроэнергетическую систему. Данное влияние выражается не только в увеличении максимумов мощности и потребления ЭЭ, но также и в необходимости усиления существующего электросетевого комплекса и нового сетевого строительства для технологического присоединения растущей ЭЗИ. Минимизировать объемы реконструкции и сетевого строительства возможно за счет использования существующих резервов мощности центров питания для технологического присоединения ЭЭС. В текущих условиях становится особенно актуальной возможность управления активной и реактивной мощностью ЭЭС для ограничения пиковой нагрузки и повышения качества электроэнергии.

В результате проведенных исследований было показано, что присоединение ЭЭС с системой динамической балансировки мощности к трансформаторным подстанциям возможно без увеличения их максимума нагрузки при незначительном объеме ограничений электропотребления ЭЭС [37], а использование внешних инверторов быстрых ЭЭС в качестве устройства компенсации реактивной мощности позволяет ограничить отклонения напряжения [38]. Однако для широкого внедрения систем управления электропотреблением ЭЭС необходима разработка методов и алгоритмов для определения требований, условий и параметров систем управления активной и реактивной мощностью ЭЭС, а также разработка мер по стимулированию владельцев ЭЗИ участвовать в управлении режимами работы распределительных электрических сетей.

Таким образом, использование суточной и сезонной неравномерности графиков нагрузки центров питания для технологического присоединения ЭЭС совместно с ограничением электропотребления ЭЭС для снижения совмещенных максимумов нагрузки (а в будущем и использования возможностей выдачи мощности в сеть за счет разряда батарей электромобилей – V2G), может позволить снизить прогнозируемый рост потребления мощности ЭЗИ в масштабах региональных энергосистем и ЭЭС. Для точной оценки возможного снижения совмещенных максимумов мощности необходимы сведения о суточных и сезонных профилях нагрузки центров питания.

Также следует отметить, что даже при высокой доле подключаемых гибридов в парке ЭТ, влияние ЭЗИ на электросетевую комплекс оказывается существенным (рис. унок 8 построен при доле подключаемых гибридов – 60 %). И хотя доля подключаемых гибридов является одним из наиболее значимых факторов, оказывающих влияние на потребление ЭЭ и мощности, можно сделать вывод, что, несмотря на растущий парк подключаемых гибридов, обгоняющий парк электромобилей, ЭЗИ, тем не менее, будет оказывать заметное влияние на энергосистему.

Верификация результатов исследования проведена путем сравнения расчетных значений потребления ЭЭ с данными независимых исследований [6, 7], что показало

близкое соответствие. Обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием в методике расчета официальных нормативных данных (годовые пробеги ТС – Приложение №8 Положения Банка России [29]), актуальных технических характеристик моделей ЭТ и апробированного метода расчета потребляемой мощности [36].

Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы для корректировки сценарных условий развития региональных парков ЭТ и ЭЗИ для увеличения точности прогнозов потребления ЭЭ и мощности при учете основных параметров парка ЭТ и ЭЗИ.

#### *Заключение (Conclusions)*

В настоящей работе выполнено комплексное исследование факторов, влияющих на потребление ЭЭ и мощности ЭЗИ в регионах России.

По результатам исследования установлено, что к 2050 году потребление ЭЭ ЭЗИ может составить 8,13-11,85 %, а потребление мощности – 11,54-16,81 % (относительно показателей ЕЭС за 2024 год). Наибольшее влияние на потребление мощности оказывает количество электромобилей на одну ЭЗС (37,1 %), доля подключаемых гибридов (23,7 %) и доля быстрых ЭЗС в парке (20,8 %). Наибольшее влияние на потребление ЭЭ оказывает доля подключаемых гибридов (32,3 %), коэффициент использования подключаемых гибридов (26,3 %) и доля электробусов в парке ЭТ (21,6 %).

В работе показано, что парк ЭТ и ЭЗИ окажет заметное влияние на энергосистему даже при высокой доле подключаемых гибридов (60 %).

Расчеты показали, что наибольший относительный прирост потребления ЭЭ и мощности прогнозируется в регионах с низким годовым электропотреблением (Тыва, Алтай, Тамбовская область, Ингушетия и др.), а также в Москве (при условии сохранения текущего регионального распределения парка ЭТ).

Настоящее исследование отличается от существующих прогнозов потребления ЭЭ и мощности ЭЗИ комплексным учетом значимости влияющих факторов, в том числе доли подключаемых гибридов и климатических условий в регионах России.

Полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы для повышения точности прогнозных оценок потребления ЭЭ и мощности ЭЗИ.

Направлением дальнейших исследований является оценка необходимого объема инвестиций в новое сетевое строительство и реконструкцию электросетевого комплекса для технологического присоединения ЭЗС, а также разработка технических решений для ограничения присоединяемой мощности ЭЗИ посредством управления электропотреблением.

#### **Литература**

1. Global EV Outlook 2025. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025> (date accessed: 16.10.2025). – Text : electronic.
2. IRENA (2023), Innovation landscape for smart electrification: Decarbonising end-use sectors with renewable power. – Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency, 2023. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/Innovation-landscape-for-smart-electrification> (date accessed: 27.01.2025). – Text : electronic.
3. В России числится порядка 140 тысяч электрокаров и гибридов. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/60792/> (дата обращения: 16.10.2025). – Текст : электронный.
4. Потребление электроэнергии в РФ для зарядки электромобилей к 2030г достигнет 1 млрд кВтч – BigpowerNews. – URL: <https://www.bigpowernews.ru/interview/document112350.phtml> (дата обращения: 16.10.2025). – Текст : электронный.
5. Поляков Д. К. Разработка эффективной модели потребления электроэнергии электромобилями / Д. К. Поляков, Н. В. Коровкин, Е. Р. Гарайшина // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10 (148). – С. 129.
6. Веселов Ф. А. Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЕЭС России / Ф. А. Веселов, А. И. Соляник, Р. О. Аликин // Известия Российской Академии Наук. Энергетика. – 2023. – № 1. – С. 57-71.
7. Мазурова О. В. Долгосрочная оценка спроса на энергию на пассажирском транспорте России в условиях низкоуглеродной трансформации / О. В. Мазурова // Проблемы прогнозирования. – 2024. – № 3 (204). – С. 130-140.
8. О концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года от 23 августа 2021 - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/608396540> (дата обращения: 11.08.2022). – Текст : электронный.

9. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России / Д. В. Санатов, А. М. Абакумов, А. Ю. Айдемиров [и др.]. – Текст : электронный. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46443315> (дата обращения: 10.10.2025).
10. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4261-р Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 г. | Документы ленты ПРАЙМ: ГАРАНТ. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963861/> (дата обращения: 10.10.2025). – Текст : электронный.
11. Евдокимов Д. Ю. Развитие электрозаправочной инфраструктуры в регионах России: сценарный анализ / Д. Ю. Евдокимов, Ю. Ю. Пономарев // Экономическое развитие России. – 2022. – Т. 29. – № 11. – С. 59-76.
12. Воронин В. А. Мультиагентное моделирование развития электрозарядной инфраструктуры города Кемерово / В. А. Воронин, Ф. С. Непша // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 3 (78). – С. 10-17.
13. Колян Н. С. Прогнозная оценка потенциального рынка электромобилей и эффектов снижения выбросов парниковых газов в России / Н. С. Колян, А. Е. Плесовских, Р. В. Гордеев // Journal of Applied Economic Research. – 2023. – Т. 22. – № 3. – С. 497-521.
14. Анализ российского рынка электромобилей. – URL: <https://strategy.ru/research/research/analiz-rossiyskogo-rynka-elektromobiley-67/> (date accessed: 10.10.2025). – Текст : electronic.
15. Милякин С. Р. Перспективы автомобилизации на базе отечественных электромобилей: анализ и сценарный прогноз / С. Р. Милякин, Н. Д. Скубачевская // Проблемы прогнозирования. – 2024. – ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ. – № 1. – С. 132-143.
16. Ростовский Йоханнес-Корнелиус. Оценка влияния рынков электромобилей на перспективы развития отраслей российской промышленности / Ростовский Йоханнес-Корнелиус. – Текст : электронный. – 2024. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80308115> (дата обращения: 10.10.2025).
17. Сценарии развития электромобилей и зарядной инфраструктуры в Российской Федерации на период до 2035 года / А. В. Шаркова, Е. П. Петухова, М. Д. Капустина, А. С. Романов // Экономика, Предпринимательство и право. – 2025. – Т. 15. – № 4. – С. 2535-2546.
18. АНО МЕФТ. – URL: <https://www.anomeft.com/> (дата обращения: 13.10.2025). – Текст : электронный.
19. Global EV Data Explorer – Data Tools. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer> (date accessed: 20.10.2025). – Текст : electronic.
20. Число публичных зарядных станций для электромобилей в России превысило 7,4 тысячи. – URL: <https://www.autostat.ru/news/58056/> (дата обращения: 01.11.2025). – Текст : электронный.
21. Хайретдинова А. Р. Модель развития зарядной инфраструктуры города Москвы / А. Р. Хайретдинова, И. И. Касаткин, А. Ф. Колбасов // Московский транспорт. Наука и проектирование. – 2025. – № 1 (1). – С. 14-22.
22. The 2030 National Charging Network: Estimating U.S. Light-Duty Demand for Electric Vehicle Charging Infrastructure. – URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1969130/> (date accessed: 01.11.2025). – Текст : electronic.
23. UK EV owners seek alternatives to expensive home charging. – URL: <https://www.consultancy.uk/news/38948/uk-ev-owners-seek-alternatives-to-expensive-home-charging> (date accessed: 11.10.2025). – Текст : electronic.
24. Global EV Outlook 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (date accessed: 15.10.2025). – Текст : electronic.
25. Как часто владельцы электромобилей заряжают их дома? – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/59635/> (дата обращения: 07.04.2025). – Текст : электронный.
26. Стало известно, где владельцы электромобилей их заряжают. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/56483/> (дата обращения: 30.12.2023). – Текст : электронный.
27. Четверть всех электромобилей в России приходится на Москву. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/57007/> (дата обращения: 01.11.2025). – Текст : электронный.
28. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). Наличие автомобильного транспорта. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/36228> (дата обращения: 01.11.2025). – Текст : электронный.
29. Приложение 8. Справочные данные о среднегодовых пробегах транспортных средств (ТС) (в тыс. км). Положение Банка России от 19.09.2014 N 432-П «О единой методике определения размера расходов на восстановительный ремонт в отношении поврежденного транспортного средства» (документ утратил силу) | ГАРАНТ. – URL: <https://base.garant.ru/70754306/16299f4c34ecc629cfca4846172b3229/> (дата обращения: 07.04.2025). – Текст : электронный.

30. Какие электромобили и гибриды самые распространенные в России? – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/60895/> (дата обращения: 19.10.2025). – Текст : электронный.
31. EV Database. – URL: <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car> (date accessed: 06.10.2022). – Text : electronic.
32. Al-Wreikat Y. Effects of ambient temperature and trip characteristics on the energy consumption of an electric vehicle / Y. Al-Wreikat, C. Serrano, J. R. Sodr  // Energy. – 2022. – Т. 238. – С. 122028.
33. Ansari A. Ambient Temperature Effects on Energy Consumption and CO2 Emissions of a Plug-in Hybrid Electric Vehicle / A. Ansari, H. Abediasl, M. Shahbakhti // Energies. – 2024. – Vol. 17. – № 14. – P. 3566.
34. Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles. – URL: <https://theicct.org/publication/real-world-usage-of-plug-in-hybrid-electric-vehicles-fuel-consumption-electric-driving-and-co2-emissions/> (date accessed: 20.05.2025). – Text : electronic.
35. Hamza K. Utility Factor Curves for Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Beyond the Standard Assumptions / K. Hamza, K. P. Laberteaux // World Electric Vehicle Journal. – 2023. – Vol. 14. – Utility Factor Curves for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. – № 11. – P. 301.
36. Voronin V. A Demand Factor Analysis for Electric Vehicle Charging Infrastructure / V. Voronin, F. Nepsha, P. Piyushin // World Electric Vehicle Journal. – 2025. – Vol. 16. – № 9. – P. 537.
37. Voronin V. A. Enhancing the Process for Connecting EV Charging Stations to the Power Grid / V. A. Voronin, F. S. Nepsha. – Текст : электронный // 2024 IEEE 3rd International Conference on Problems of Informatics, Electronics and Radio Engineering (PIERE). – 2024. – С. 1240-1244. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10805017> (дата обращения: 26.12.2024).
38. Voronin V. Determining Volt/Var Characteristics of Electric Vehicle Charging Station Inverters for Voltage Regulation in Distribution Networks / V. Voronin, F. Nepsha, P. Piyushin // World Electric Vehicle Journal. – 2024. – Vol. 15. – № 12. – P. 553.

#### Авторы публикации

**Воронин Вячеслав Андреевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий, ст. научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-9100>. [voroninva@kuzstu.ru](mailto:voroninva@kuzstu.ru)

#### References

1. Global EV Outlook 2025. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025> (date accessed: 16.10.2025). – Text: electronic.
2. IRENA (2023), Innovation landscape for smart electrification: Decarbonising end-use sectors with renewable power. – Abu Dhabi : International Renewable Energy Agency, 2023. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/Innovation-landscape-for-smart-electrification> (date accessed: 27.01.2025). – Text: electronic.
3. There are about 140 thousand electric cars and hybrids registered in Russia. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/60792/> (date accessed: 16.10.2025). – Text: electronic.
4. Electricity consumption in the Russian Federation for charging electric vehicles will reach 1 billion kWh by 2030 – BigpowerNews. – URL: <https://www.bigpowernews.ru/interview/document112350.phtml> (date accessed: 16.10.2025). – Text: electronic.
5. Poliakov D. K. Razrabotka effektivnoi modeli potrebleniia elektroenergii elektromobiliami / D. K. Poliakov, N. V. Korovkin, E. R. Garaishina // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2024. – № 10 (148). – S. 129.
6. Veselov F. A. Vliianie elektrifikatsii v sektore dorozhnogo transporta na uroven' elektropotrebleniia i sutochnyi grafik nagruzki v EES Rossii / F. A. Veselov, A. I. Solianik, R. O. Alikin // Izvestiia Rossiiskoi Akademii Nauk. Energetika. – 2023. – № 1. – S. 57-71.
7. Mazurova O. V. Dolgosrochnaia otsenka sprosa na energiiu na passazhirskom transporte Rossii v usloviakh nizkouglerodnoi transformatsii / O. V. Mazurova // Problemy prognozirovaniia. – 2024. – № 3 (204). – S. 130-140.
8. On the Concept for the Development of Production and Use of Electric Motor Vehicles in the Russian Federation for the Period until 2030 of August 23, 2021 - docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/608396540> (date accessed: 11.08.2022). – Text: electronic.
9. Perspektivy razvitiia rynka elektrotransporta i zariadnoi infrastruktury v Rossii / D. V. Sanatov,

- A. M. Abakumov, A. Iu. Aidemirov [i dr.]. – Text: electronic. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46443315> (date accessed: 10.10.2025).
10. Decree of the Government of the Russian Federation of December 28, 2022 No. 4261-r On the Approval of the Strategy for the Development of the Automotive Industry of the Russian Federation until 2035 | Prime News Feed Documents: GARANT. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963861/> (date accessed: 10.10.2025). – Text: electronic.
11. Evdokimov D. Iu. Razvitiye elektrozapravochnoi infrastruktury v regionakh Rossii: stsenarnyi analiz / D. Iu. Evdokimov, Iu. Iu. Ponomarev // *Ekonomicheskoe razvitiye Rossii*. – 2022. – T. 29. – № 11. – S. 59-76.
12. Voronin V. A. Multiagentnoe modelirovaniye razvitiia elektr ozariadnoi infrastruktury goroda Kemerovo / V. A. Voronin, F. S. Nepsha // *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye*. – 2023. – № 3 (78). – S. 10-17.
13. Kolian N. S. Prognoznaia otsenka potentsial'nogo rynka elektromobiley i effektivnosti snizheniya vybrosov parnikovykh gazov v Rossii / N. S. Kolian, A. E. Plesovskikh, R. V. Gordeev // *Journal of Applied Economic Research*. – 2023. – T. 22. – № 3. – S. 497-521.
14. Analysis of the Russian Electric Vehicle Market. – URL: <https://strategy.ru/research/research/analiz-rossiyskogo-rynka-elektromobiley-67/> (date accessed: 10.10.2025). – Text: electronic.
15. Milakin S. R. Perspektivy avtomobilizatsii na baze otechestvennykh elektromobiley: analiz i stsenarnyi prognoz / S. R. Milakin, N. D. Skubachevskaya // *Problemy prognozirovaniya*. – 2024. – PERSPEKTIVY AVTOMOBILIZATSII NA BAZE OTECHESTVENNYKH ELEKTROMOBEILEI. – № 1. – S. 132-143.
16. Rostovskii Iokhannes-Kornelius. Otsenka vliianiya rynkov elektromobiley na perspektivy razvitiia otraslei rossiiskoi promyshlennosti / Rostovskii Iokhannes-Kornelius. – Text: electronic. – 2024. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80308115> (date accessed: 10.10.2025).
17. Stsenarii razvitiia elektromobiley i zariadnoi infrastruktury v Rossiiskoi Federatsii na period do 2035 goda / A. V. Sharkova, E. P. Petukhova, M. D. Kapustina, A. S. Romanov // *Ekonomika, Predprinimatel'stvo i Pravo*. – 2025. – T. 15. – № 4. – S. 2535-2546.
18. ANO MEFT. – URL: <https://www.anomeft.com/> (date accessed: 13.10.2025). – Text: electronic.
19. Global EV Data Explorer – Data Tools. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer> (date accessed: 20.10.2025). – Text: electronic.
20. The number of public electric vehicle charging stations in Russia has exceeded 7.4 thousand. – URL: <https://www.autostat.ru/news/58056/> (date accessed: 01.11.2025). – Text: electronic.
21. Khairtdinova A. R. Model' razvitiia zariadnoi infrastruktury goroda Moskvy / A. R. Khairtdinova, I. I. Kasatkin, A. F. Kolbasov // *Moskovskii transport. Nauka i proektirovaniye*. – 2025. – № 1 (1). – S. 14-22.
22. The 2030 National Charging Network: Estimating U.S. Light-Duty Demand for Electric Vehicle Charging Infrastructure. – URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1969130/> (date accessed: 01.11.2025). – Text: electronic.
23. UK EV owners seek alternatives to expensive home charging. – URL: <https://www.consultancy.uk/news/38948/uk-ev-owners-look-for-alternatives-to-expensive-home-charging> (date accessed: 11.10.2025). – Text: electronic.
24. Global EV Outlook 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (date accessed: 15.10.2025). – Text: electronic.
25. How often do electric vehicle owners charge them at home? – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/59635/> (date accessed: 07.04.2025). – Text: electronic.
26. It became known where electric vehicle owners charge them. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/56483/> (date accessed: 30.12.2023). – Text: electronic.
27. A quarter of all electric vehicles in Russia are in Moscow. – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/57007/> (date accessed: 01.11.2025). – Text: electronic.
28. Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS). Availability of motor vehicles. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/36228> (date accessed: 01.11.2025). – Text: electronic.
29. Appendix 8. Reference data on the average annual mileage of vehicles (in thousand km). Regulation of the Bank of Russia dated September 19, 2014 N 432-P "On the Unified Methodology for Determining the Amount of Costs for Restoration Repairs in Relation to a Damaged Vehicle" (the document is no longer in force) | GARANT. – URL: <https://base.garant.ru/70754306/16299f4c34ecc629cfca4846172b3229/> (date accessed: 07.04.2025). – Text: electronic.
30. What electric and hybrid cars are the most common in Russia? – URL: <https://www.autostat.ru/infographics/60895/> (date accessed: 19.10.2025). – Text: electronic.

31. EV Database. – URL: <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car> (date accessed: 06.10.2022). – Text: electronic.
32. Al-Wreikat Y. Effects of ambient temperature and trip characteristics on the energy consumption of an electric vehicle / Y. Al-Wreikat, C. Serrano, J. R. Sodré // *Energy*. – 2022. – Т. 238. – S. 122028.
33. Ansari A. Ambient Temperature Effects on Energy Consumption and CO2 Emissions of a Plug-in Hybrid Electric Vehicle / A. Ansari, H. Abediasl, M. Shahbakhti // *Energies*. – 2024. – Vol. 17. – № 14. – P. 3566.
34. Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles. – URL: <https://theicct.org/publication/real-world-usage-of-plug-in-hybrid-electric-vehicles-fuel-consumption-electric-driving-and-co2-emissions/> (date accessed: 20.05.2025). – Text: electronic.
35. Hamza K. Utility Factor Curves for Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Beyond the Standard Assumptions / K. Hamza, K. P. Laberteaux // *World Electric Vehicle Journal*. – 2023. – Vol. 14. – Utility Factor Curves for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. – № 11. – P. 301.
36. Voronin V. A Demand Factor Analysis for Electric Vehicle Charging Infrastructure / V. Voronin, F. Nepsha, P. Ilyushin // *World Electric Vehicle Journal*. – 2025. – Vol. 16. – № 9. – P. 537.
37. Voronin V. A. Enhancing the Process for Connecting EV Charging Stations to the Power Grid / V. A. Voronin, F. S. Nepsha. – Text: electronic // 2024 IEEE 3rd International Conference on Problems of Informatics, Electronics and Radio Engineering (PIERE). – 2024. – S. 1240-1244. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10805017> (date accessed: 26.12.2024).
38. Voronin V. Determining Volt/Var Characteristics of Electric Vehicle Charging Station Inverters for Voltage Regulation in Distribution Networks / V. Voronin, F. Nepsha, P. Ilyushin // *World Electric Vehicle Journal*. – 2024. – Vol. 15. – № 12. – P. 553.

#### **Authors of the publication**

**Vyacheslav A. Voronin** – Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7242-9100>. [voroninva@kuzstu.ru](mailto:voroninva@kuzstu.ru)

*Шифр научной специальности: 2.4.3 Электроэнергетика*

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| <b>Получено</b>        | <b>13.11.2025 г.</b> |
| <b>Отредактировано</b> | <b>17.01.2026 г.</b> |
| <b>Принято</b>         | <b>19.01.2026 г.</b> |