

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.33:621.316.1

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА***К.Б. Корнеев, М.С. Хрусталева, В.В. Сизова**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Корнеев К.Б., Хрусталева М.С.,
Сизова В.В., 2023

Аннотация. Указано, что переход на электромобили сделал необходимым значительную реконструкцию сети электроснабжения городов. Сделан вывод, что наличие зарядных станций большой мощности оказывает огромное влияние на график электропотребления городов. Перечислены причины, которые мешают внедрению в Российской Федерации станций зарядки с использованием возобновляемых источников энергии. Отмечено, что постепенное расширение парка электромобилей потребует внесения поправок в нормативные документы, регламентирующие технические, экологические и экономические аспекты функционирования городской среды.

Ключевые слова: электромобиль, электроснабжение, график нагрузок, зарядные станции, городская инфраструктура.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-1-42-54

Появление относительно доступных электромобилей привело к тому, что данные транспортные средства набирают популярность среди широких слоев населения [1–4]. Так как цены на батареи падают [5], преимущества электромобилей для потребителей становятся очевидными. В 2021–2022 гг. практически каждый крупный производитель автомобилей объявил о планах перехода на электрические или подключаемые гибридные автомобили. В городах многие стремятся извлечь выгоду из использования электромобилей (от снижения затрат на техническое обслуживание до улучшения качества воздуха). Однако государственные и крупные частные структуры в указанном виде населенных пунктов должны подготовить инфраструктуру к распространению электромобилей. Помимо того, что цены на аккумуляторы этих транспортных средств невелики, рассматриваемые машины имеют самую низкую совокупную стоимость владения на рынке легковых автомобилей и будут продолжать становиться все более доступными для среднего потребителя. В дополнение к низким затратам на техническое обслуживание и «топливо» электромобили также обеспечивают бесшумную работу и отсутствие выбросов выхлопных газов, что делает их удачным выбором как с экологической, так и экономической точки зрения. Таким образом, использование

электромобилей может помочь городским властям улучшить качество воздуха (особенно в районах вдоль основных автомагистралей и автострад), сэкономить деньги на автопарке, снизить налоги, ограничить зависимость городов от неустойчивых цен на нефть и бензин и т.д. В эпоху, когда все чаще в крупных населенных пунктах стремятся сократить потребление топлива и объем выбросов парниковых газов, содействие внедрению электромобилей становится жизненно важным инструментом совершенствования энергетики и в целом устойчивого развития страны.

Из-за роста количества электромобилей на дорогах потребуется улучшить инфраструктуру. Города могут (и должны) играть огромную роль в формировании лучшего будущего. Согласно недавнему анализу [6], опубликованному Национальной лабораторией возобновляемых источников энергии (NREL) и посвященному установлению объема инфраструктуры, необходимой для преобразования рынка электромобилей, крупным городам США потребуется 4 900 станций быстрой зарядки постоянного тока, небольшим городам – 3 200, в то время как междугородним магистральным дорогам – всего 400. Это позволит обеспечить среднее количество около 50 зарядных станций на каждую тысячу машин.

Прогнозные мировые значения показывают, что более половины выпускаемых к 2030 г. легковых машин в мире будет передвигаться на электротяге (при условии, что емкость авторынка не особо изменится по сравнению с нынешней). Чтобы поддержать подобные темпы экспансии производства электромобилей, участникам рынка и их партнерам предстоит ввести в строй предприятия по выпуску тяговых батарей совокупной емкостью 5,8 ТВт·ч/г. к концу десятилетия.

Отметим, что сложившийся план застройки и системы электроснабжения города оказывает огромное влияние на то, как и где будет создаваться инфраструктура зарядных станций. В этом случае электроснабжающие компании выступают важным и необходимым партнером в деле преобразования рынка, помогающим сделать электромобили важной частью национального парка легковых транспортных средств. Поэтому в городах должны быть готовы к внедрению электромобилей и на уровне политики, нормативного регулирования, и на в техническом (при планировании государственной и частной инфраструктуры).

Принятие нормативных актов, поддерживающих использование электромобилей и включающих описание оборудования для зарядки электромобилей при проектировании и реконструкции жилых и коммерческих зданий, является важным шагом на пути к созданию городской среды, пригодной для эксплуатации рассматриваемого транспорта. В частности, стандарты парковки дают уникальную возможность создавать здания и коммерческие объекты, готовые к повсеместному применению электромобилей. Многоквартирные дома, коммерческие объекты и комплексы смешанного типа могут быть спроектированы с учетом перехода на электромобили и получения различных социальных преимуществ, включая возможность дополнительного развития альтернативной энергетики. Однако применительно к территории РФ существуют значительные ограничения, связанные с использованием ветровой и солнечной энергетики [8] для обеспечения зарядки вышеназванных машин. На рис. 1 представлена схема эффективности использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на территории РФ.



Рис. 1. Карта распределения зон эффективности использования ВИЭ [17]

Все автомобили, которые называют электрическими, можно разделить на несколько классов:

1. Собственно электромобили, или BEV (Battery Electric Vehicle), – транспортные средства на аккумуляторных батареях, использующие для движения один или несколько электродвигателей, источником питания для которых выступают аккумуляторные батареи. К таким автомобилям относят Audi e-tron, Porsche Taycan, Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV и различные модели Tesla.

2. Подключаемые гибриды, или PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), – машины, которые используют для зарядки аккумуляторных батарей не только системы рекуперации энергии при торможении или во время движения, но и внешние источники электроэнергии. К указанным гибридам принадлежат Toyota Prius, Chevrolet Volt.

3. «Обычные» гибриды, или HEV (Hybrid Electric Vehicle), – гибриды, которые заряжают установленные аккумуляторные батареи только за счет работы двигателя внутреннего сгорания или особенностей движения по трассе.

По статистическим данным, свыше половины всех электромобилей различных типов [3] в 2021 г. приходится на Дальневосточный федеральный округ (доля – 58 %), что связано с постоянным импортом подобных машин из Японии и Южной Кореи. Около 15 % зарегистрировано в Сибири, 10,5 % – в Центральном федеральном округе; меньше всего электромобилей и подключаемых гибридов на Северном Кавказе (0,8 %). На Южный федеральный округ приходится 4,4 %, на Приволжский и Уральский – по 4 %, на Северо-Западный – 3 %. Однако регистрация автотранспорта не всегда соответствует его применению: наибольший пробег электромобилей приходится на Центральный федеральный округ.

По состоянию на 1 июля 2022 г. парк электромобилей (BEV) и подключаемых гибридов (PHEV) в России составил 23,3 тыс. экземпляров, или 0,05 % от всего парка легковых автомобилей (45,42 млн машин). Большая часть электромобилей и подключаемых гибридов используется в Центральном федеральном округе, который, судя

по рис. 1, обладает крайне низким потенциалом использования ВИЭ. В РФ в общем парке электроавтомобилей (BEV) значительную долю (около 69 %) занимает Nissan Leaf, что можно объяснить относительной дешевизной этой машины, особенно на вторичном рынке. На втором месте (доля 13 %) располагаются различные модели Tesla. Доля каждой из остальных марок не превышает 4,5 %. При этом стоит учитывать, что существует множество типов зарядных устройств, различающихся мощностью, уровнем напряжения, разъемом, а следовательно, в настоящее время не существует универсальных зарядных устройств, к которым все электроавтомобили могли бы подключаться без адаптера (например, Nissan Leaf не может использовать зарядные станции для автомобилей Tesla (Superchargers) и наоборот).

Инфраструктура зарядки является ключевым вопросом в связи с внедрением электроавтомобилей, и требуется создание комплексной общенациональной инфраструктуры зарядки до повсеместного внедрения электроавтомобилей. Это особая проблема в контексте России – большой страны с чрезвычайно неоднородным распределением плотности населения (рис. 2), а также значительными вариациями климата. Основная территория расселения в РФ – это 3,8 млн км² (22,3 % площади), на которых живет 125,7 млн чел. (85,9 % населения). Остальные 77,7 % площади характеризуются плотностью населения меньше 6 чел/км². Большие расстояния между городами и необходимость использования кондиционеров или средств обогрева приводят к более быстрой разрядке батареи, поэтому российские водители проявляют беспокойство по поводу возможной дальности поездки. Иными словами, зарядные станции в РФ необходимы на всех основных дорогах.

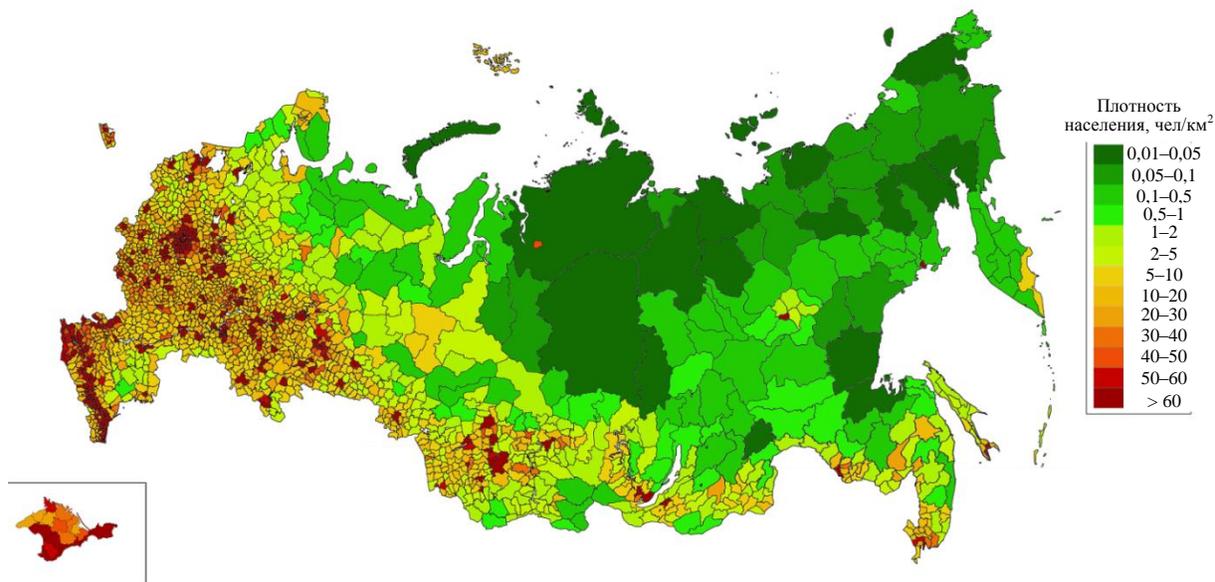


Рис. 2. Распределение плотности населения в РФ [18]

Многочисленные публикации показывают, что отсутствие инфраструктуры прямо влияет на намерения потребителей приобрести электроавтомобиль, а это не просто обуславливает рыночные продажи, но и является серьезным аргументом против распространения электроавтомобилей. Исследования показывают, что ускоренное развитие общественной зарядной инфраструктуры приводит к увеличению продаж указанных машин. Однако на ранних этапах становления рынка электроавтомобилей частные варианты зарядки, такие как зарядка дома или на рабочем месте, также могут оказаться

возможными. В настоящее время лишь небольшое число предприятий имеет возможность установить зарядные станции значительной мощности, поскольку это может быть сопряжено с техническими ограничениями собственных подстанций, а также с необходимостью увеличения лимитов установленной мощности. Многоквартирные дома, как правило, не позволяют организовать зарядку электромобиля, так как требуемая для этого мощность превосходит технические характеристики электропроводки указанного вида жилья. Единственным приемлемым решением становится зарядка в частном доме, но даже в этом случае потребитель сталкивается с необходимостью получения проекта и технических условий на технологическое присоединение.

Отдельным нюансом выступает и то, какое влияние электромобили оказывают непосредственно на электрические сети. Эти транспортные средства потребляют большое количество электроэнергии за короткий промежуток времени из-за нелинейного характера их нагрузок, что может вызвать нестабильность в силовых сетях. Привычки водителя (например, осуществление зарядки в утренние часы перед работой), а также мощности автомобилей, подключенных к одной зарядной станции, обуславливают степень воздействия инфраструктуры зарядки электромобилей на кривую нагрузки сети. Большая часть регионов России, особенно в европейской части, является энергозатратной (в них потребление электроэнергии превышает производство), и широкое внедрение электромобилей может стать дополнительным балластом для перегруженной сети.

Хранение энергии – еще одна проблема, мешающая внедрению электромобилей. Однако отметим, что снижение стоимости тяговых батарей [5] инициировало новые бизнес-модели, позволяющие использовать потенциал электромобилей для указанного хранения. Технология Vehicle-to-grid (V2G) позволяет заряжать электромобили и возвращать накопленную электроэнергию в сеть через подключение к домашней, коммерческой или общественной зарядной станции. Однако применение такой сети в РФ ограничено из-за непроработанности административных и технических вопросов. Аккумуляторы транспортных средств могли бы заряжаться по низкому ночному тарифу, когда спрос в сети низкий и имеется избыточная неиспользованная мощность, а затем частично разряжаются по более высокому тарифу во время пикового спроса, когда в сети не хватает питания, что позволяет владельцам получать прибыль. Однако такая технология показывает свою целесообразность только при «классической» энергетике, базирующейся на сжигании ископаемого топлива. В случае перехода на возобновляемую энергетику (особенно солнечные электростанции с фотоэлектрическими модулями) это потребует установки промежуточных накопителей энергии для того, чтобы запасти энергию днем и выдать ее ночью в электрическую сеть. Кроме того, нужно не только обеспечить необходимые по мощности источники энергии (электрические станции), но и передать выработанную или накопленную энергию к месту потребления, что также создает дополнительную нагрузку на уже сложившуюся систему электроснабжения.

Таким образом, развитие технологии V2G в РФ на данный момент сдерживается инфраструктурой, высоким износом аккумуляторов и низкой осведомленностью потребителей. Можно констатировать, что повсеместное использование аккумуляторов электромобилей в краткосрочной перспективе в масштабах электрической сети для хранения и реализации указанной технологии вряд ли возможно.

Одни из основных проблем, связанных с аккумуляторными электромобилями (BEV), – ограниченная емкость батарей и запас хода, обусловленный этой емкостью. Емкость батареи многих современных моделей ограничивает их дальность пробега (до

300 км). Некоторые новые модели предлагают дальность до 700 км, однако такая дальность рассчитана для положительных температур и по методике производителей. Фактическая же дальность пробега все равно 180–450 км. Стиль вождения также оказывает влияние на расход батарей и дальность хода, но в значительно меньшей степени, чем для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. Таким образом, время, необходимое для зарядки электромобиля, остается одним из наиболее важных факторов. В таблице указаны некоторые из самых распространенных в РФ электромобилей, их номинальный и фактический запас хода, а также время зарядки их аккумуляторов.

Если говорить о времени зарядки, то под домашней зарядкой подразумевается подключение к бытовой электросети мощностью около 2,3 кВт (10 А). Общедоступные зарядные станции с напряжением 220 В и мощностью 11 кВт сокращают время зарядки до 8 ч, что для некоторых водителей приемлемо, но слишком долго при перемещении между городами. В крупных городах встречаются быстрые зарядные станции постоянного тока мощностью 50 кВт; их использование сокращает время заряда до единиц часов. Указанные же в таблице значения для быстрой зарядки достижимы только на станциях мощностью 150–270 кВт и напряжением 480–800 В. Однако на территории Московской области, по данным сервиса «Московский транспорт» на ноябрь 2022 г., зафиксированы только 23 действующих быстрых зарядных станции (с мощностью 120 кВт), а в Тверской области вообще нет ни одной. Принятый 23 августа 2021 г. документ «Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» предусматривает значительное расширение сети зарядных станций, однако введенные в 2022 г. санкционные ограничения внесли значительные коррективы в эти планы.

Значения показателей для быстрой зарядки в зависимости от модели электродвигателя

Модель электромобиля	Номинальный запас хода, км	Фактический запас хода, км	Время зарядки, ч	
			Домашняя зарядка	Быстрая зарядка
Tesla Model S	603	523	15	0,63
Volkswagen ID.3	547	475	12,25	0,57
Tesla Model 3	547	475	11,75	0,37
BYD Tango	528	400	10,75	0,50
Skoda vision IV	498	442	13,25	0,55
Jaguar I pace	470	415	9	0,92
Audi e-tron	500	408	40	0,83
Porsche Taycan	484	385	43,8	0,5
Nissan Leaf	385	270	9	0,63

Быстрая зарядка – важный вопрос, оказывающий влияние на развитие городской сетевой инфраструктуры. Чем больше энергии требуется для зарядки автомобиля от распределительной сети (напряжением от 380 В до 10 кВ), тем больше нужно установленной мощности электрооборудования сети. Кроме того, эта мощность должна поддерживаться не только местной зарядной станцией, но и кабелями, электрическими трансформаторами, обеспечивающими электроснабжение данных станций. При малопредсказуемой динамике потребления электроэнергии зарядными станциями

требуется избыточное резервирование достаточно больших мощностей трансформаторов, которые при отсутствии зарядки электромобилей будут работать на холостом ходу, приводя к непроизводительным потерям электроэнергии.

Если электромобили заряжаются в одно и то же время бесконтрольно, пиковая нагрузка на сеть может значительно увеличиваться, что вызовет локальную перегрузку распределительной сети [9]. Эта перегрузка требует увеличения пропускной способности. В зависимости от сочетания энергетических систем, типа сети и степени проникновения электромобилей могут возникать различные последствия. Если не использовать интеллектуальное распределение зарядки, влияние на городские распределительные сети может быть значительным и выражаться в увеличении тепловой нагрузки на проводники и трансформаторы; снижении уровня напряжения, асимметрии нагрузки (при применении однофазных зарядных станций); сокращении срока службы трансформаторов; повышенных гармонических искажениях из-за зарядных устройств.

В настоящее время во многих крупных городах в центральных районах организуют платные парковочные места. Городские власти активно участвуют в управлении политикой парковки, включая эксплуатацию счетчиков и сбор платы за уличную парковку. Парковка может служить как важным источником дохода для городов, так и ключевым инструментом политики развития рассматриваемого вида населенных пунктов.

Многие парковочные места на улице расположены в непосредственной близости от городских уличных фонарей и паркоматов, что может рассматриваться как потенциальный источник энергии для зарядки электромобилей. Проблема заключается в малой установленной мощности систем освещения и необходимости прокладки кабелей большего сечения для возможности присоединения парковочных станций мощностью хотя бы 11 кВт (рис. 3). Однако такое размещение может создавать и определенные проблемы для городской инфраструктуры, так как длительная (до 8 ч) парковка электромобиля может послужить потенциальным фактором образования пробок, а также ограничивает доступ других электромобилей. В силу этого даже в крупных городах (например, Москве) наблюдается противоречивая ситуация с установкой зарядных станций [10, 11].



Рис. 3. Городская зарядная станция в Москве [12]

За рубежом в данный момент на уровне политики нацелены на увеличение количества электромобилей. В качестве основной причины их внедрения называют заботу о качестве городского воздуха [12]. Так, в Пекине и Гуанчжоу требуют установки зарядных станций у правительственных зданий и муниципальных парковок. На общественных улицах в таких городах, как названный выше Пекин и Шэньчжэнь, есть зарядные устройства на тротуарах, хотя наиболее распространенной остается зарядка в частных гаражах. В городе Уху (провинция Аньхой) установили требования к общественной зарядке на всей территории города в радиусе 0,9 км и предоставили городскую землю и бордюрное пространство.

В Соединенных Штатах Америки во многих городах предлагают зарядку электромобилей в муниципальных гаражах (аналог перехватывающих парковок в РФ). В феврале 2018 г. в Сиэтле было размещено 156 новых зарядных устройств на единственной парковке в центре города (в настоящее время одна из крупнейших подобных установок в мире). В городе Балтиморе есть зарядные станции для электромобилей в девяти муниципальных гаражах, а также несколько зарядных станций для электромобилей на уличных парковках (места со счетчиками платные, но электричество бесплатное).

Уличные парковки – наиболее удачное решение для городов, особенно в районах, где жители не имеют доступа к домашней зарядке. К таким городам относятся города с уже сформировавшейся многоквартирной застройкой. Строительство зарядных станций большой мощности потребует реконструкции существующих придомовых распределительных подстанций с увеличением мощности трансформаторов, а также перепрокладки линий высоковольтной городской сети электроснабжения, рассчитанной на напряжение 6–20 кВ. Подключение электромобиля для зарядки к электрической сети квартиры сопряжено с превышением предельно допустимой мощности для электропроводки и выходу ее из строя, а также с возрастанием вероятности пожара. Зарядка током 6–10 А, характерным для городских квартир, малоэффективна. Пока не проработан административный регламент разделения ответственности за техническую эксплуатацию устройства, оплаты технологических потерь в самой зарядной станции и на участке от подстанции до зарядной станции, а также взимания платы жильцами при подключении сторонних электромобилей.

Если проанализировать сложившуюся в РФ ситуацию, то можно сделать вывод, что процесс внедрения зарядных станций для электромобилей идет постепенно, однако менее равномерно, чем в Европе (рис. 4). Тем не менее в относительно небольших городах, например Твери, количество таких станций и их доступность значительно ограничены (рис. 5). В таких населенных пунктах использование электромобилей единично и не оказывает значительного воздействия на общее энергопотребление. Однако с ростом количества электромобилей и развитием городской зарядной инфраструктуры потребуются учитывать влияние, оказываемое новыми энергообъектами, на общегородскую электрическую сеть как в плане распределения мощностей, так и на профили электрических нагрузок.

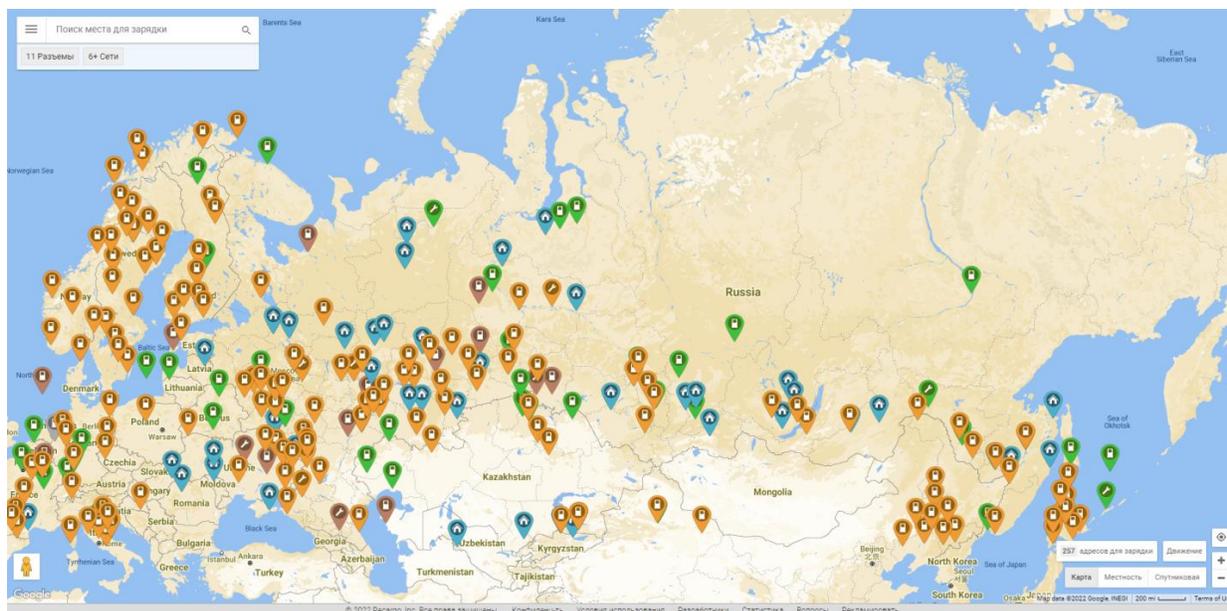


Рис. 4. Распределение зарядных станций по РФ с указанием их типа (зеленый цвет – публичная; оранжевый – высокой мощности; коричневый – с ограничением доступа; голубой – частные) [19]

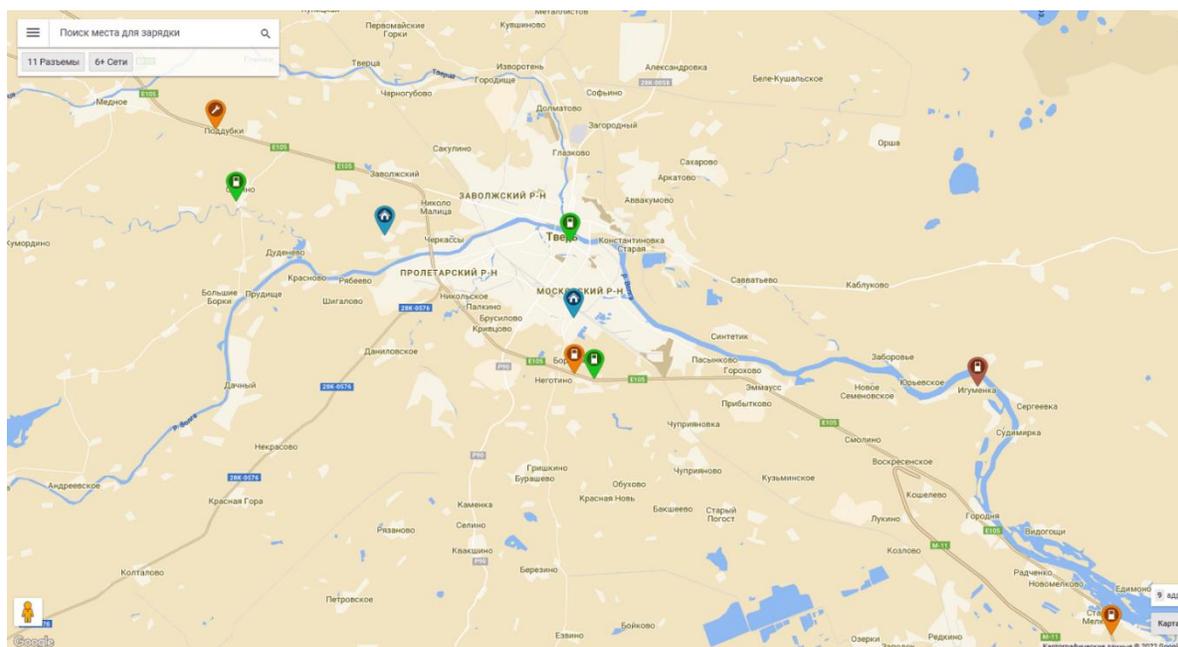


Рис. 5. Информация о имеющихся в наличии зарядных станциях в городе Твери и окрестностях [19]

Таким образом, в настоящий момент при незначительном уровне проникновения электромобилей в городскую инфраструктуру в России их использование (а главное – зарядка) не оказывает решающего воздействия на функционирование сети

электроснабжения городов. Тем не менее с увеличением количества производимых и поставляемых в РФ электромобилей [15] их влиянием на надежность электроснабжения и качество электрической энергии уже нельзя будет пренебрегать. В связи с ограничительными мерами по поставке зарубежной техники и технологий на первое место выходят собственные разработки российских компаний, связанные с внедрением экономичных, энергоэффективных зарядных установок, оказывающих малое воздействие на качество электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России: экспертно-аналитический доклад / Д.В. Санатов [и др.]. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 44 с.
2. Лобода В. Только каждый пятый россиянин готов купить электромобиль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/52929/> (дата обращения: 22.11.2022).
3. Отчет «Электромобили и автомобили-беспилотники: уже реальность?». М.: Сбербанк Инвестиции, 2022. 48 с.
4. Электрокары и гибриды в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.autostat.ru/file_getters/download/5944/ (дата обращения: 22.11.2022).
5. Конончук М. Дороги назад нет: как Европа решила заглушить бензиновые двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autonews.ru/news/6360d5939a7947421cade8d4> (дата обращения: 22.11.2022).
6. Richter F. Rising commodity prices slow EV battery price drop. Dec 14, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.statista.com/chart/7713/electric-car-battery-prices/> (дата обращения: 22.11.2022).
7. Wood E., Rames C., Muratori M., Raghavan S., Melaina M. National Plug-In Electric Vehicle Infrastructure Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/69031.pdf> (дата обращения: 22.11.2022).
8. Lienert P. Exclusive: Automakers to double spending on EVs, batteries to \$1.2 trillion by 2030 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.reuters.com/technology/exclusive-automakers-double-spending-evs-batteries-12-trillion-by-2030-2022-10-21/> (дата обращения: 22.11.2022).
9. Голубев С.В. Возобновляемые источники энергии в энергетике газовой отрасли. Перспективы и аспекты применения ВИЭ на объектах ПАО «Газпром» // *Газовая промышленность*. 2016. № 12 (746). С. 72–78.
10. Powell S., Cezar G.V., Min L. et al. Charging infrastructure access and operation to reduce the grid impacts of deep electric vehicle adoption // *Nat Energy*. 2022. № 7. Pp. 932–945.
11. В России смонтируют до 3 тыс. зарядок для электромобилей к концу 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/16049309> (дата обращения: 22.11.2022).
12. В Москве убирают зарядные станции для электромобилей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mskgazeta.ru/obshchestvo/v-moskve-ubirayut-zaryadnye-stancii-dlya-elektromobilej-5814.html> (дата обращения: 22.11.2022).
13. В одни ворота: почему полный переход на электромобили не спасет экологию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.m24.ru/articles/ehkologiya/25052022/464628> (дата обращения: 22.11.2022).

14. Корнеев К.Б., Раймонд Осеи-Овусу. Реконфигурация существующей электрической сети населенных пунктов на основе данных о загрузке потребителей // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 4 (8). С. 57–65.
15. Маринова С.В. Прогнозирование электропотребления как сфера системного подхода и экспериментальных решений на базе существующих моделей и методов // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 3 (11). С. 50–65.
16. Фокин В. Электромобиль в большом городе. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mobile-review.com/articles/2021/electric-cars.shtml> (дата обращения: 22.11.2022).
17. Эффективность использования ВИЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nirpom.ru/uploads/Новости/2018/june/ris23.jpg> (дата обращения: 22.11.2022).
18. Плотность населения России по муниципальным образованиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Плотность_населения_России_по_муниципальным_образованиям.png (дата обращения: 22.11.2022).
19. Карта зарядных станций для электромобилей в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://plugshare.ru/> (дата обращения: 22.11.2022).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОРНЕЕВ Константин Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: energy-tver@mail.ru

ХРУСТАЛЕВА Мария Сергеевна – магистрант кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: masamasa1487@gmail.com

СИЗОВА Виктория Валентиновна – кандидат психологических наук, доцент, зав. кафедрой иностранных языков, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vicas2005@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Корнеев К.Б., Хрусталева М.С., Сизова В.В. Анализ влияния электромобилей на функционирование электросетевой инфраструктуры города // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 1 (17). С. 42–54.

**ANALYSIS OF THE IMPACT OF ELECTRIC VEHICLES ON THE FUNCTIONING
OF THE POWER GRID INFRASTRUCTURE OF THE CITY**

K.B. Korneev, M.S. Khrustalyova, V.V. Sizova
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. It is indicated that the transition to electric vehicles has made it necessary to significantly reconstruct the power supply network of cities. It is concluded that the presence of high-power charging stations has a huge impact on the schedule of power consumption of cities. The reasons that prevent the introduction of charging stations using renewable energy sources in the Russian Federation are listed. It is noted that the gradual expansion of the electric vehicle fleet will require amendments to regulatory documents regulating the technical, environmental and economic aspects of the functioning of the urban environment.

Keywords: electric car, power supply, load schedule, charging stations, urban infrastructure.

REFERENCES

1. Perspektivy razvitiya elektrotransporta I zaryadnoy infrastruktury v Rossii: ekspertno-analiticheskiy doklad [Prospects for the development of the market for electric transport and charging infrastructure in Russia: expert and analytical report] / D.V. Sanatov [et al.]. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS, 2021. 44 p.
2. Loboda V. Only every fifth Russian is ready to buy an electric car [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.autostat.ru/infographics/52929/> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
3. Otchet «Elektromobily I avtomobily-bespilotniki: uzhe realnost'?» [Report: «Electric vehicles and self-driving cars: already a reality?»]. Moscow: Sberbank Investments, 2022. 48 p.
4. Electric cars and hybrids in Russia [Electronic resource]. – Access mode: https://www.autostat.ru/file_getters/download/5944/ (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
5. Kononchuk M. There is no turning back: How Europe decided to stop gasoline engines [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.autonews.ru/news/6360d5939a7947421cad8d4> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
6. Richter F. Rising commodity prices slow EV battery price drop [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.statista.com/chart/7713/electric-car-battery-prices/> (date of access: 22.11.2022).
7. Wood E., Rames C., Muratori M., Raghavan S., Melaina M. National plug-in electric vehicle infrastructure analysis [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/69031.pdf> (date of access: 22.11.2022).
8. Lienert P. Exclusive: Automakers to double spending on EVs, batteries to \$1.2 trillion by [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.reuters.com/technology/exclusive-automakers-double-spending-evs-batteries-12-trillion-by-2030-2022-10-21/> (date of access: 22.11.2022).
9. Golubev S.V. Renewable energy sources in the energy sector of the gas industry. Prospects and aspects of the use of renewable energy at the facilities of PJSC Gazprom. *Gas industry*. 2016. No. 12 (746), pp. 72–78. (In Russian).
10. Powell S., Cezar G.V., Min L. et al. Charging infrastructure access and operation to reduce the grid impacts of deep electric vehicle adoption. *Nat Energy*. 2022. No. 7, pp. 932–945.

11. Up to 3,000 electric car chargers will be installed in Russia by the end of 2024 [Electronic resource]. – Access mode: <https://tass.ru/ekonomika/16049309> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
12. Charging stations for electric vehicles are being removed in Moscow [Electronic resource]. – Access mode: <https://mskgazeta.ru/obshchestvo/v-moskve-ubirayut-zaryadnye-stancii-dlya-elektromobilej-5814.html> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
13. One way: why a full transition to electric vehicles will not save the environment [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.m24.ru/articles/ehkologiya/25052022/464628> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
14. Korneev K.B., Raymond Osei-Owusu. Reconfiguration of the existing electrical network of settlements on the basis of data on the load of consumers. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Construction. Electrical engineering and chemical technologies»*. 2020. No. 4 (8), pp. 57–65. (In Russian).
15. Marinova S.V. Forecasting of power consumption as a sphere of systemic approach and experimental solutions based on existing models and methods. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Construction. Electrical engineering and chemical technologies»*. 2021. No. 3 (11), pp. 50–65. (In Russian).
16. Fokin V. Electric car in a big city. Part 1 [Electronic resource]. – Access mode: <https://mobile-review.com/articles/2021/electric-cars.shtml> (date of access: 22.11.2022). (In Russian).
17. Efficiency of RES use [Electronic resource]. – Access mode: <https://nipom.ru/uploads/Новости/2018/june/ris23.jpg> (date of access: 11.22.2022). (In Russian).
18. Population density of Russia by municipalities [Electronic resource]. – Access mode: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Плотность_населения_России_по_муниципальным_образованиям.png (date of access: 11.22.2022). (In Russian).
19. Map of charging stations for electric vehicles in Russia [Electronic resource]. – Access mode: <https://plugshare.ru/> (date of access: 11.22.2022). (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KORNEEV Konstantin Borisovich – candidate of technical sciences, associate professor of the department of power supply and electrical engineering, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: energy-tver@mail.ru

KHRUSTALYOVA Maria Sergeevna – master's student, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: masamasa1487@gmail.com

SIZOVA Victoria Valentinovna – candidate of psychological sciences, associate professor, head of the department of foreign languages, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vicas2005@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Korneev K.B., Khrustalyova M.S., Sizova V.V. Analysis of the impact of electric vehicles on the functioning of the power grid infrastructure of the city // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2023. No. 1 (17), pp. 42–54.