



## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1792-8780>, [sarkazan@bk.ru](mailto:sarkazan@bk.ru)

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Одним из основных препятствий для развития рынка электротранспорта, является отсутствие налаженной зарядной инфраструктуры. Мобильные зарядные станции (МЗС) могут сыграть заметную роль в ускорении распространения электромобилей в РФ, предоставляя услуги зарядки без ограничений по месту. В статье обсуждаются преимущества МЗС, их недостатки и, наконец, представлены области где еще предстоит провести исследования. **МАТЕРИАЛЫ.** Авторами статьи проведена обработка и анализ данных современного состояния зарядной инфраструктуры в России и мире, основываясь на материалах российских и зарубежных авторов, а также на информации о стратегии развития электротранспортной промышленности России и мира, в частности данных компании Madison Gas and Electric. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Полученные аналитические результаты являются одним из аспектов, который будет учитываться при разработке мобильных устройств заряда электротранспорта. Данная технология мобильного зарядного устройства существенно расширяет возможности применения электротранспорта, в частности электромобилей, а также решает различные задачи топливно-энергетического комплекса, связанные с автономными источниками питания и системами распределенной генерации. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Зарядная инфраструктура является одним из факторов, влияющих на переход к электрическим транспортным средствам, так как эксплуатируемые электромобили характеризуются небольшим запасом хода и длительным периодом заряда тяговой батареи. Однако данный процесс будет длительным и в ближайшем будущем будут создаваться сети зарядных станций, в том числе мобильные установки заряда электротранспорта.

**Ключевые слова:** электротранспорт; быстрая автономная зарядка; мобильная зарядная станция.

**Благодарность:** Публикация статьи осуществлена в рамках проекта «Организация высокотехнологичного производства мобильных установок заряда электротранспорта высокой мощностью с интегрированной системой накопления электроэнергии», Соглашение №075-11-2021-048 с Минобрнауки РФ от 25 июня 2021 г.

**Для цитирования:** Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-100-114.

## STUDY OF DESIGN FEATURES OF MOBILE CHARGING UNITS FOR ELECTRIC TRANSPORT FOR DEVELOPMENT OF SKETCH DESIGN DOCUMENTATION

AR. Safin, IV. Ivshin, AN. Tsvetkov, TI. Petrov, VR. Basenko VA. Manakhov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1792-8780>, [sarkazan@bk.ru](mailto:sarkazan@bk.ru)

**Abstract: THE PURPOSE.** Charging infrastructure is one of the factors influencing the transition to electric vehicles, as the electric vehicles in operation are characterized by a small range and a long battery charge period. Today, the development of the charging infrastructure depends only on the networks of stationary charging stations, which also have disadvantages (high cost, lack of mobility, etc.). Therefore, the purpose of this work is to study the design features of mobile electric vehicle charge units (MCSEU) for the development of draft design documentation for the creation of a new MCSEU project. This issue includes the study of the world market of manufacturers of modern mobile chargers, the study of technical and operational features that are today presented to modern energy storage and storage systems. **MATERIALS.** The authors of the article processed and analyzed data on the current state of the charging infrastructure in Russia and the world, based on materials from Russian and foreign authors, as well as information on the development strategy of the electric transport industry in Russia and the world, in particular, data from Madison Gas and Electric. **RESULTS.** The obtained analytical results are one of the aspects that will be taken into account when developing mobile charging devices for electric vehicles. This mobile charger technology significantly expands the possibilities of using electric vehicles, in particular electric vehicles, and also solves various problems of the fuel and energy complex associated with autonomous power sources and distributed generation systems. **CONCLUSION.** The charging infrastructure is one of the factors influencing the transition to electric vehicles, as the electric vehicles in operation are characterized by a small range and a long period of charging the traction battery. However, this process will be long and in the near future networks of charging stations will be created, including mobile charging units for electric vehicles.

**Keywords:** electric transport; fast autonomous charging; mobile charging station.

**Acknowledgments:** The publication of the article was carried out within the framework of the project "Organization of high-tech production of mobile high-power electric transport charge units with an integrated energy storage system", Agreement No. 075-11-2021-048 with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated June 25, 2021.

**For citation:** Safin AR, Ivshin IV, Tsvetkov AN, Petrov TI, Basenko VR, ManakhovThe VA. Study of design features of mobile charging units for electric transport for development of sketch design documentation. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(5):100-114. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-100-114.

### **Введение**

Распространение электромобилей идет быстрыми темпами. В 2018 году было продано уже более двух миллионов электромобилей, а прогноз на 2025 год предполагает продажу 10 миллионов электромобилей. Ожидается, что к 2040 году 57% всех продаж легковых автомобилей и более 30% мирового парка легковых автомобилей будут электрическими [1].

Мировой спрос на энергию для электромобилей также может вырасти с 20 миллиардов кВт·ч в 2020 году до 280 миллиардов кВт·ч в 2030 году [2]. Поскольку ограничение запаса хода является одним из ключевых факторов, препятствующих распространению электромобилей, создание инфраструктуры зарядных станций для покрытия потребности в зарядке электромобилей станет важной задачей в ближайшем будущем. Эффективный способ не отставать от растущего количества электромобилей - использовать разные методы зарядки с различным функционалом, чтобы компенсировать недостатки каждого из них. В статье представлен обзор литературы по различным технологиям для зарядки электромобилей, включая стационарные, мобильные зарядные станции и беспроводная зарядка (рис.1).

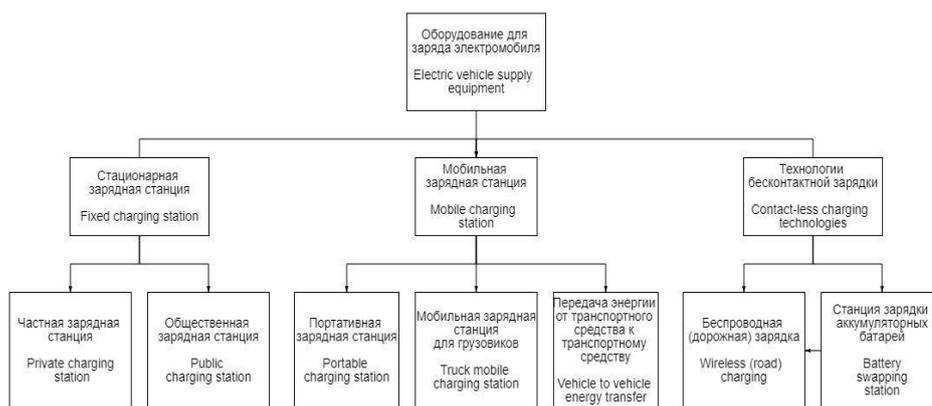


Рис. 1. Классификация способов зарядки электромобилей *Fig. 1. Classification of electric vehicle charging methods*

Электромобили для движения используют электродвигатели, приводимые в действие электрической энергией, накопленной в аккумуляторной батарее. Эти транспортные средства доступны в различных моделях с различными диапазонами и возможностями и подключаются к источнику электроэнергии для подзарядки. Терминология, связанная с технологией электромобилей, развивается. Многие из фундаментальных концепций на самом деле предшествовали бензиновым двигателям внутреннего сгорания. В начале 1900-х годов в мире на дорогах было больше электромобилей, чем автомобилей, работающих на бензине. Достижения в области технологии хранения аккумуляторных батарей, конструкции легких транспортных средств, автоматизации электросетей и других факторов повысят привлекательность электромобилей для потребителей, предприятий и государственных учреждений и поддержат долгосрочные переходы к более эффективным вариантам транспортировки.

Все электромобили питаются исключительно от энергии, накопленной в аккумуляторной системе автомобиля. В автомобиле нет резервного источника питания поэтому, когда аккумулятор разряжается, его необходимо подзарядить перед повторной работой. Подзарядка электромобилей осуществляется посредством подключения к зарядному оборудованию для электромобилей. Это система, которая взаимодействует с транспортным средством и контролирует электрическую активность для обеспечения безопасной зарядки. Рисунок 2 представляет собой диаграмму общего потока энергии для зарядки от электросети через зарядное оборудование и в автомобиль через стандартный разъем порта. Электроника зарядного устройства в автомобиле преобразует переменный ток, подаваемый в электромобиль, в постоянный ток посредством выпрямителя для хранения в аккумуляторной батарее. Далее для движения электромобиля в него установлен двигатель работающий на переменном токе, который преобразуется из постоянного, подаваемым аккумуляторными батареями, посредством инвертора.

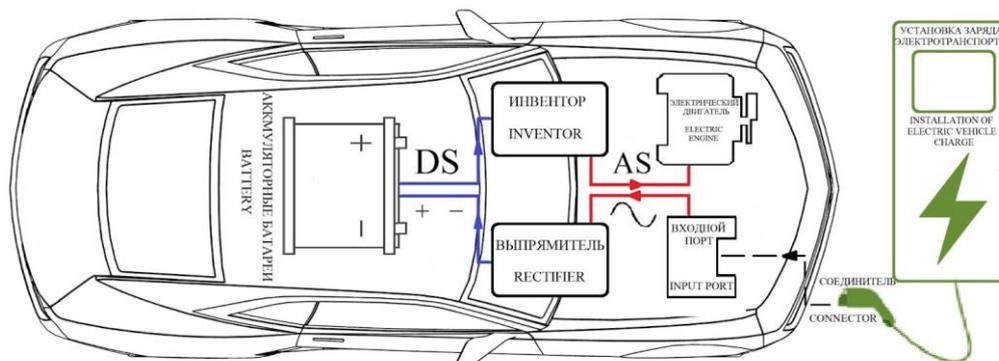


Рис. 2. Схема зарядного оборудования для электромобиля *Fig. 2. Diagram of charging equipment for an electric vehicle*

Большинство существующих научно-исследовательских работ в литературе сосредоточено на стационарных зарядных станциях (СЗС) из-за их широкого

распространения. В том числе рассматриваются способы замены батарей и беспроводной зарядки, которые редко используются из-за их недоработанной технологии, относительно больших затрат на строительство и сложности стандартизации [3]. Основное внимание в этом обзоре уделяется технологиям, преимуществам и применению мобильных зарядных станций (МЗС).

#### Стационарные зарядные станции

Стационарные зарядные станции (СЗС) - это стационарные сооружения в виде обычной розетки или помещения, оборудованные одной или несколькими преобразовательными устройствами. Электроэнергия поступает от электросети или местного генератора энергии [4]. Количество СЗС в 2018 году составило 5,2 миллиона во всем мире для легковых автомобилей [5]. В зависимости от доступности СЗС подразделяются на частные зарядные станции (ЧЗС) и общественные зарядные станции (ОЗС). Большинство СЗС - это медленные зарядные устройства на дому и на работе, часто называемые частными зарядными станциями (ЧЗС). ЧЗС устанавливаются в местах, требующих частного доступа, включая частные жилые и служебные парковки, доступные только местным жителям, сотрудникам или посетителям [6]. В то время как владельцы электромобилей могут заряжать дома по низким тарифам, нехватка частных парковок в больших городах и длительное время зарядки электромобилей являются важными факторами, которые определяют потребность в общественных зарядных станциях (ОЗС) [7]. В результате в 2018 году по всему миру было установлено почти 540 000 общедоступных зарядных устройств (в том числе 150 000 быстрых зарядных устройств), а с учетом 156 000 устройств быстрой зарядки для автобусов к концу 2018 года во всем мире было установлено около 300 000 устройств быстрой зарядки [5].

#### Мобильная зарядная станция: уровень техники

Мобильная зарядная станция - это новый тип зарядного оборудования для электромобилей, которая позволяет заряжать электромобиль в любом месте и в любое время [9]. МЗС позволяют решить проблему перегрузки электросетей при большом потоке электромобилей [4]. В связи с новизной технологии МЗС и вниманием, которое ей уделяется в последнее время в литературе, рассматриваются различные аспекты этой технологии.

Существуют разные конфигурации МЗС. Мобильные зарядные станции на базе грузовиков (МЗСГ) - это электрические или гибридные транспортные средства, например грузовик или фургон, оборудованный одной или несколькими зарядными батареями, которые могут преодолевать расстояние в определенном районе для зарядки электромобилей.

Существует два типа МЗСГ, как показано на рисунке 3.

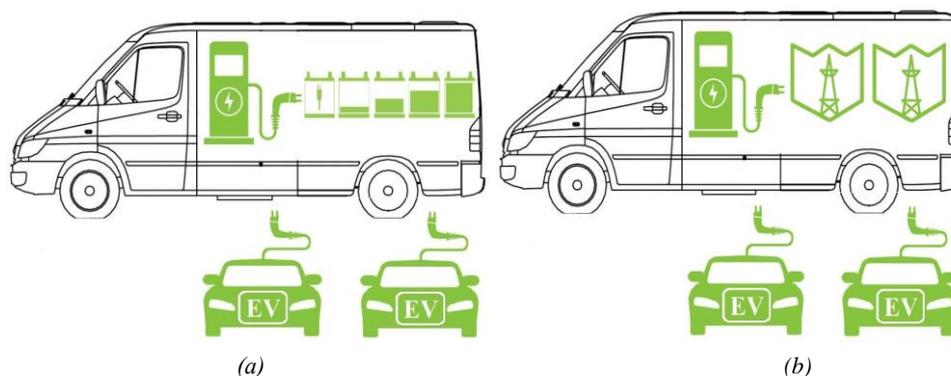


Рис.3. Мобильные зарядные станции на базе фургона: (a) Мобильные зарядные станции с аккумуляторными системами хранения энергии, (b) Мобильных зарядные станции без аккумуляторных систем хранения энергии

Fig. 3. Truck mobile charging stations: (a) Mobile charging stations with battery energy storage systems, (b) Mobile charging stations without battery energy storage systems

Некоторые МЗСГ не оснащены какими-либо типами накопителей энергии и просто дублируют функции СЗС, если требуется больше точек зарядки для электромобилей [10]. Другими словами, зарядные устройства МЗСГ подключаются напрямую к электросети. Другие МЗСГ оснащены смонтированными аккумуляторными системами накопления энергии [11]. Данные МЗСГ могут заряжать электромобили в любом месте (например, там,

где они припаркованы), но им необходимо заряжать свои аккумуляторные системы на зарядной станции.

Портативные мобильные зарядные станции (МЗСП) включают в себя мобильную аккумуляторную систему накопления энергии, которая буксируется или переносится транспортным средством, в отличие от МЗСГ, что обеспечивает автономную работу МЗСП. Питание МЗСП может осуществляться через встроенный трансформатор от электросетей среднего напряжения (6, 10 кВ) или от местного генератора.

#### *Преимущества МЗС*

МЗС устраняют несколько недостатков СЗС, что позволяет повысить привлекательность использования электромобиля.

1) Преимущества для владельцев электромобилей: гарантированный запас хода, время зарядки и доступность зарядки являются важными параметрами, влияющими на распространение электромобилей. Одним из способов справиться с опасением по поводу дальности поездок на электромобиле – это создать развитую сеть СЗС, что требует значительных инвестиций. Использование МЗС позволяет повысить комфорт от использования электромобилей для их владельцев за счет предоставления им дополнительных зарядных устройств, что приводит к меньшим инвестициям в инфраструктуру СЗС [12].

2) Доступность зарядки: СЗС имеют ограниченное количество розеток для зарядки и могут быть не в состоянии справиться с повышенным спросом к зарядке [7]. Более того, СЗС включают платные, льготные или бесплатные станции в общедоступных гаражах и на стоянках [6]. По данным Madison Gas and Electric, пользователи общедоступных СЗС занимают зарядные станции в среднем примерно на 45 минут дольше, чем время, необходимое для зарядки их электромобилей [13]. Кроме того, во многих крупных городах, где у большинства жителей нет своих гаражей, зарядка происходит на открытом воздухе [14, 15]. Предоставляя услуги зарядки в любое время и в требуемом месте, в зависимости от типа электромобилей, МЗС сможет помочь повысить привлекательность эксплуатации электромобилей. МЗС можно также использовать для помощи на дорогах электромобилям, у которых закончился заряд батарей. С увеличением проникновения электромобилей МЗС может обслуживать электромобили в дороге лучше и с меньшими затратами по сравнению с буксировкой их ближайшей зарядной станции. Другими словами, МЗС работает аналогично как *power bank* для смартфонов [16].

3) Время зарядки электромобиля, как правило, больше, чем время, необходимое автомобилю с ДВС для заполнения своего бака на заправочных станциях. Единственная технология зарядки, которая может конкурировать, – это быстрая зарядка постоянным током, которая может заряжать конкретный электромобиль до уровня заряда 75% примерно за полчаса [17]. Однако пока только 16% общественных зарядных станций оснащены такой зарядкой [17]. В качестве решения проблемы МЗС могут помочь решить эту данную проблему, предоставляя более быстрые варианты зарядки. Кроме того, если мы учитываем время в пути до СЗС, МЗС экономят больше времени на зарядку, предоставляя зарядные устройства в местах расположения владельцев электромобилей [18].

4) Преимущества для электросети: с увеличением проникновения электромобилей количество запросов на зарядку также будет увеличиваться. В зависимости от того, насколько быстро идет процесс зарядки, влияние на электросеть может быть разным [19,20].

Медленная зарядка: Большинство зарядных станций устанавливаются на рабочих местах, поэтому неудивительно, что пик потребления возникает в два момента времени: когда люди приходят на работу и когда они возвращаются после обеда [21]. Таким образом, СЗС обладают небольшой гибкостью при зарядке. Напротив, МЗС могут накапливать энергию в аккумуляторных батареях в непиковые часы и предоставлять услуги по зарядке электромобилей на основе спроса на зарядку в реальном времени [22].

Быстрая зарядка: высокий спрос на быструю зарядку может вызвать значительное падение напряжения в сети и привести к сбою электроснабжения [23]. Следовательно, электросеть может выйти из строя, если несколько электромобилей заряжаются одновременно, таким образом, поэтому важно правильно планировать процессы зарядки электромобилей [24, 25]. С увеличением проникновения электромобилей и увеличением числа систем с быстрой зарядкой, подключенных к электросетям, модификация существующей инфраструктуры электросетей потребует значительных инвестиций [19, 26]. Следовательно, в существующей электросети невозможно обеспечить большое количество СЗС. Расширяя парк МЗС, они позволят получить более плоский профиль электропотребления и уменьшить потребность в инвестициях для модернизации

инфраструктуры. Кроме того, использование МЗС требует установки меньшего количества точек зарядки на базе СЗС в месте, которое страдает от негативного воздействия процесса зарядки на энергосистему.

4) Выгоды для инвесторов СЗС: МЗС могут увеличить коэффициент использования СЗС, что может мотивировать инвесторов создавать новые зарядные станции.

Трудно определить, создавать ли широкую сеть зарядных устройств для стимулирования внедрения электромобилей или ждать повышения темпов внедрения электромобилей перед созданием зарядных устройств [27]. Как решение, МЗС играют важную роль в удовлетворении этих потребностей. В сценарии инвестирования в СЗС с использованием МЗС инвесторы могут найти лучшие места для СЗС, прежде чем вкладывать значительные средства в расширение сети зарядки. Кроме того, можно будет установить множество МЗС временно, именно тогда и там, где они необходимы [28]. Этот вариант может помочь инвесторам лучше оценить количество запросов на взимание платы и получить больше времени для расширения своей сети СЗС.

Низкий коэффициент использования СЗС, даже в городах с высокой плотностью электромобилей, является серьезным препятствием, замедляющим возврат инвестиций [29]. В Шэньчжэне, Китай, количество зарядных станций увеличилось до 7962, хотя регулярно можно использовать только 3697 зарядных станций, что составляет 46,3% от общего числа [30]. Хотя МЗС приводят к снижению проникновения СЗС, в конечном итоге они увеличивают использование СЗС и их доходность. Это побудит больше компаний вкладывать средства в СЗС. На рис.3 представлена информация о преимуществах МЗС.

#### *Недостатки МЗС*

При разработке МЗС необходимо решить несколько серьезных инженерных проблем [28]. Например, разработка конструкции мобильного зарядного устройства и аккумулятора, который может заряжаться и разряжаться непрерывно, с учетом высокой стоимости аккумуляторов и срока службы аккумулятора [11], проблема проектирования и затрат, связанных с силовым электронным оборудованием [31], разработка системы управления [32].

Уравновешивание предложения и спроса для достижения оптимального использования энергии МЗС и максимизация КПД передачи энергии - две основные задачи при эксплуатации МЗС [33, 34].

Проектирование зарядной навигационной системы для МЗС для выбора мест остановок при оказании услуг зарядки и предотвращение дополнительных поездок для зарядки электромобиля или самой МЗС - еще одна проблема при эксплуатации МЗС [35]. В дополнение к этим проблемам существует несколько других препятствий для эффективной работы МЗС, которые не получили должного внимания в литературе.

Планирование внедрения электромобилей не существовало, когда была построена большая часть дорог и сетевой инфраструктуры. Чтобы осуществить переход от бензина и дизельного топлива к электричеству в качестве основного вида энергии, необходима надежная и доступная инфраструктура зарядки. Эта потребность требует больших инвестиций в область зарядки электромобилей [36]. Чтобы облегчить внедрение электромобилей, важно снизить затраты, связанные с созданием инфраструктуры для зарядки [37]. Стоимость батареи и стоимость транспорта являются двумя основными статьями расходов при создании МЗС. Однако главная проблема при планировании МЗС - высокая стоимость системы аккумуляторных батарей.

При планировании и проектировании МЗС большое значение имеет поиск оптимального количества МЗС для покрытия запросов на зарядку. Оптимизация количества МЗС и количества зарядных розеток каждой МЗС для уменьшения задержки обслуживания обсуждалась в [4,38]. В [4] результаты показывают, что при увеличении количества розеток с 1 до 4 время ожидания уменьшается с 89 минут до 5 минут.

В [4], [7] и [38] предлагается эффективная процедура для временного увеличения пропускной способности СЗС путем планирования МЗС для обслуживания дополнительных электромобилей в часы пик. Алгоритм диспетчеризации разработан в [4], где МЗС с накопителем электроэнергии или без него отправляются для покрытия спроса на зарядку от перегруженных СЗС или непосредственно к пользователям электромобилей. Преимущества использования МЗС для уменьшения задержки ожидания [38–40] и вероятности выхода из строя [40] изучались в литературе. Это трансформирует проблему маршрутизации электромобилей, ищущих зарядные станции, в проблему маршрутизации МЗС, отправляемым электромобилям. Маршрутизация электромобилей рассматривалась в статьях [41, 42].

Производители автомобилей вкладывают значительные средства в инновации, надеясь, что спрос на электромобили останется высоким [21]. В дополнение к большому количеству автопроизводителей и компаний по зарядке электромобилей, которые предоставляют зарядные устройства, несколько компаний, хорошо известных в других областях, вложили значительные средства в создание объектов зарядной инфраструктуры. Эти компании включают крупные нефтяные и энергетические компании, такие как *Shell* и *British Petroleum Company (BP)*, и инжиниринговые компании, такие как *Siemens* [43]. Однако некоторые компании пошли дальше и предлагают новые услуги, включая МЗС, которые используются для электромобилей для предоставления услуг по зарядке. В 2010 году швейцарская компания по хранению энергии *Nation-E AG* представила первую в мире систему, которая поможет электромобилям продолжить свой путь к ближайшей зарядной станции [12]. Что касается услуг мобильной зарядки, Volkswagen и NIO - два производителя автомобилей, которые рассматривают МЗС как новую услугу зарядки для зарядки электромобилей [16] и [44]. Недавно *Tesla* также выпустила свою мобильную зарядную станцию [45]. Более того, МЗС могут предлагаться независимыми компаниями в качестве основной формы услуги [46]. Эти независимые компании могут быть компаниями-поставщиками услуг фиксированной зарядки или просто компаниями-поставщиками услуг мобильной связи. На рис. 4 показаны пять моделей МЗС.

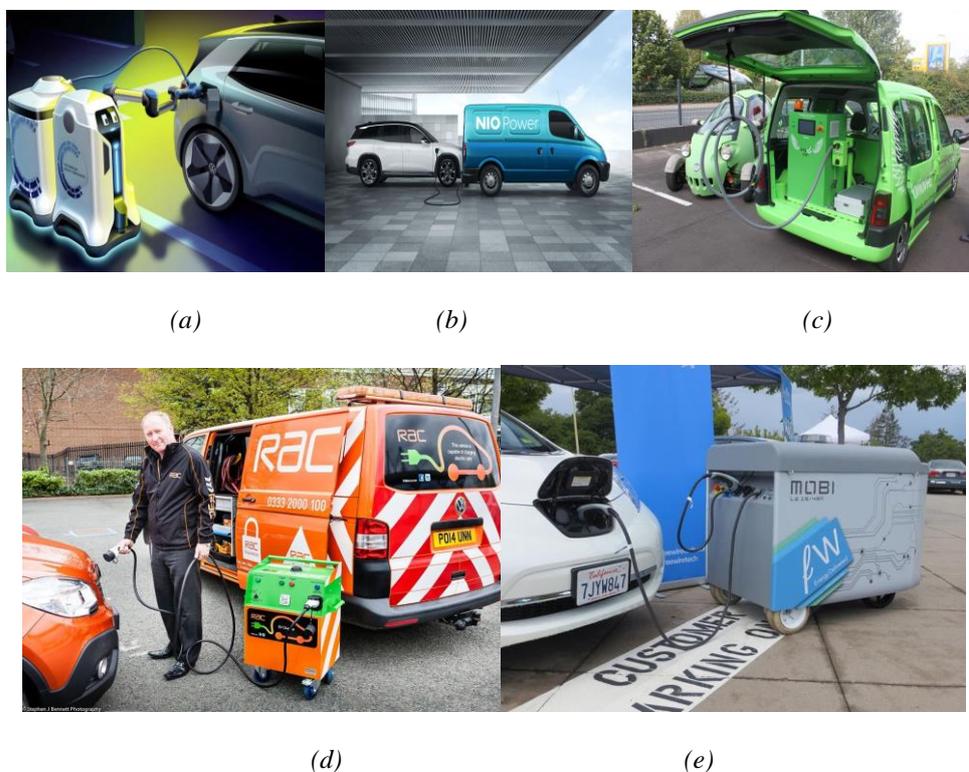


Рис. 4 Мобильные зарядные станции компаний: *Fig.4 Mobile charging stations of companies: a) Volkswagen, b) NIO, c) Eltreco, d) RAC, e) Mobi*

Несмотря на то, что в этой статье изучается области применения и преимущества МЗС, остается еще много вопросов, которые необходимо решить. С точки зрения систем распределения, возможность МЗС в качестве накопителя энергии может быть полезной для уменьшения негативного влияния систем быстрой зарядки в сети и уменьшения общего количества СЗС, необходимых для покрытия запросов в определенном месте. Необходимо изучить влияние на стабильность электросети и качества электроэнергии при эксплуатации СЗС и МЗС. Более того, необходимо учитывать возможность таких методов зарядки, как МЗС, в управлении нагрузкой в качестве возможного контролируемого накопления энергии.

Также рекомендуется изучить различные сценарии работы МЗС. Чтобы использовать МЗС более эффективно, необходимо рассмотреть бизнес-модель для них, включая обычное

приложение МЗС и их приложения на рынке вспомогательных услуг, например, для чрезвычайных ситуаций. Кроме того, необходимо ответить на такие важные вопросы, как стоимость МЗС по сравнению с СЗС и эффективность МЗС в зависимости от условий эксплуатации. Другими темами исследования являются изучение влияния стратегий владельцев электромобилей на условия движения и уровень загрязнения с учетом МЗС, оптимальная маршрутизация и начисление платы за зарядку электромобиля, а также определение мест остановки для работы МЗС.

В разделе планирования оптимальное размещение зарядной станции всегда было популярной темой исследований электромобилей, поскольку оно может иметь значительное влияние на опасения по дальности. Тем не менее, введение МЗС дает возможность сократить инвестиционные затраты и увеличить опасения по поводу диапазона за счет учета МЗС при размещении тарифов. Более того, проектирование грузовика для МЗС или портативных зарядных станций в части проектирования силовой электроники, типоразмеры и тип аккумулятора могут быть другими открытыми темами исследования в области планирования. Кроме того, учитывая слияние новых технологий зарядки электромобилей, оптимальный дизайн замены мобильной батареи или возможность разработки гибридной МЗС, которая может поддерживать как мобильную зарядку, так и технологию замены батареи, являются темами исследований, которые заслуживают обсуждения в будущем.

#### *Беспроводная зарядка*

В дополнение к обычным методам зарядки, которые основаны на подключении электромобилей к зарядным станциям, существуют и другие технологии, такие как замена аккумуляторов и беспроводная зарядка, которые не требуют прямого электрического соединения между электромобилями и зарядными устройствами. Замена аккумулятора - это решение, которое позволяет полностью зарядить электромобиль за несколько минут [8]. Технология состоит из устройства, которое меняет разряженный аккумулятор на полностью заряженный.

Беспроводная передача энергии (БПЭ) - это технология, которая позволяет заряжать электромобили в дороге или на стационарном посту через беспроводное магнитное соединение между электромобилем и катушками, установленными на поверхности дорожного покрытия. БПЭ недавно стал предметом нескольких исследований из-за его удобства и безопасности. Среди исследований в основном два общих подхода к концепции БПЭ: индуктивная и емкостная передача мощности.

#### *Мобильная установка заряда электротранспорта*

Для развития зарядной инфраструктуры республики Татарстан и России предлагается мобильная установка заряда электротранспорта (МУЗЭ), которая является уникальным решением для развития транспортной инфраструктуры, в частности данная технология позволяет повысить эксплуатационные возможности электротранспорта, в частности электромобилей. При этом применение МУЗЭ не ограничивается только сферой электротранспорта и позволяет применять данное устройство для решения различных задач в области накопления и хранения энергии для различных сфер жизнедеятельности человека.

Разработанные сегодня МУЗЭ имеют значительный диапазон мощностей: начиная от 4 кВт заканчивая мощностью в 2 МВт. Данная особенность позволяет создавать и применять МУЗЭ для различных типов электротранспорта, что расширяет возможности реализации данной технологии.

Устройства современных МУЗЭ сводятся к модульному типу. Внешней оболочкой и местом размещения и крепления служит транспортный контейнер, что придает высокую мобильность данному устройству.

Ключевым элементом МУЗЭ являются системы накопления энергии. От вида и типа систем накопления энергии будет зависеть компоновка мобильного устройства заряда, применение тех или иных систем контроля, защиты и мониторинга, технические характеристики и стоимость всего устройства.

При этом технология мобильного зарядного устройства существенно расширяет возможности применения электротранспорта, в частности электромобилей, а также позволяет решать различные задачи топливно-энергетического комплекса, связанные с автономными источниками питания и системами распределенной генерации.

Основные параметры МУЗЭ и эскизная конструкторская документация для изготовления макета основываются на выявленных технологических требованиях, полученных в результате проведенного анализа существующих систем зарядной инфраструктуры в России и за рубежом.

Для проектирования МУЗЭ разработан экспериментальный стенд для проведения испытаний (ЭСИ). Внешний вид и конструкция ЭСИ удовлетворяют современным требованиям технической эстетики и эргономики. Структурная схема экспериментального стенда для испытаний МУЗЭ представлена на рисунке 5.

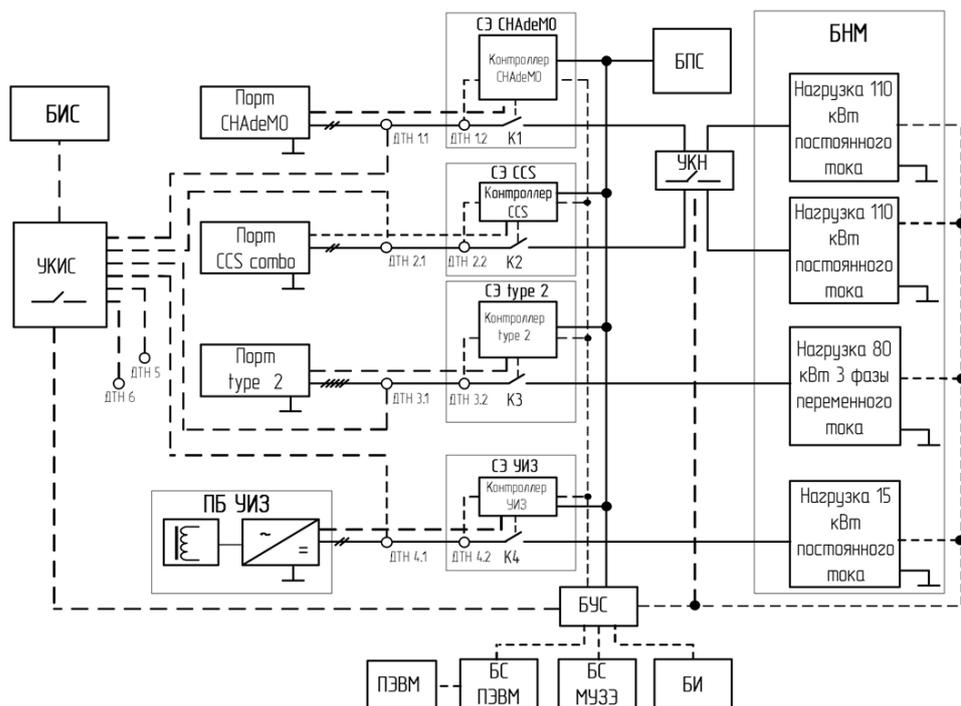


Рис. 5. Структурная схема экспериментального стенда для испытаний МУЗЭ Fig.5. Block diagram of the experimental test bench MCSEU

Данный экспериментальный стенд состоит из:

- порт CHAdeMO (автомобильный входной разъем CHAdeMO);
- Порт CCS (автомобильный входной разъем CCS);
- Порт type 2 (автомобильный входной разъем IEC 62196);
- ПБ УИЗ (приемный блок устройства индуктивного заряда);
- СЭ (симулятор электромобиля);
- БУС (блок управления ЭСИ);
- БНМ (блок нагрузочных модулей);
- БИС (блок измерительных средств);
- УКН (устройство коммутации нагрузок);
- УКИС (устройство коммутации измерительных средств);
- БИ (блок индикации);
- БС ПЭВМ (блок сопряжения с ПЭВМ);
- БПС (блок питания ЭСИ);
- БС МУЗЭ (блок сопряжения с МУЗЭ);
- ПЭВМ (персональный ЭВМ);
- ВО (вспомогательное оборудование).

#### Заключение

Мобильные зарядные станции (МЗС) являются актуальным решением для развития зарядной инфраструктуры. В этом документе также рассматриваются различные исследовательские аспекты МЗС, такие как преимущества для владельцев электромобилей и энергосистемы, их проблемы и открытые темы для будущих исследований. Делается вывод о том, что необходимы дальнейшие исследования в этой области исследований. Эти области исследований включают, помимо прочего, оптимальную координацию между различными методами зарядки, включая МЗС, снижения неблагоприятных воздействий процесса зарядки электромобилей на электрические сети с помощью МЗС и влияние МЗС на проникновение электромобилей на рынок. Этот документ служит шагом к пониманию современного состояния в области МЗС и основой для новых подходов к МЗС, чтобы сделать зарядку электромобиля удобной и быстрой.

При этом технология мобильного зарядной станции существенно расширяет возможности применения электротранспорта, в частности электромобилей, а также позволяет решать различные задачи топливно-энергетического комплекса, связанные с автономными источниками питания и системами распределенной генерации.

#### Литература

1. Вельниковский А.А. Методика обоснования региональной инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (на примере Санкт-Петербурга): автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.22.10 / Санкт-Петербург, 2019. 28 с.
2. Обоснование эффективности технического сервиса мобильных электроагрегатов транспортного назначения при эксплуатации: дисс. д-ра техн. наук: 05.20.03 / Д. Г. Асадов; Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. Москва, 2012. 305 с.
3. Мировой опыт стимулирования рынка экологических видов транспорта [Электронный ресурс] // Deloitte. Режим доступа: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/Corporate\\_responsibility/russian/ru\\_international\\_experience\\_rus.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/Corporate_responsibility/russian/ru_international_experience_rus.pdf).
4. Горбунова А.Д., Анисимов И.А. Научное обоснование расположения зарядных станций для электромобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник материалов XIV международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2019. С. 158-162.
5. Горбунова А.Д., Анисимов И.А. Анализ научных подходов к обоснованию расположения зарядной инфраструктуры для электромобилей // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 66–68.
6. Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности до 2025 года: распоряжение правительства РФ от 28.04.2018 г. № 831-р [Электронный ресурс] // Правительство России. Документы. Режим доступа: <http://government.ru/docs/32547/>.
7. Finance B.N.E. Electric Vehicle Outlook, 2019, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
8. Hauke E., Russell H., Stefan K., and S. Shivika. Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand, (accessed: Nov 28, 2019), <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand>.
9. Cui S., Zhao H., Wen H., and C. Zhang. Locating multiple size and multiple type of charging station for battery electricity vehicles. Sustainability. 2018. V. 10. no. 9. p. 3267
10. Atmaja T.D. and Mirdanies M. Electric vehicle mobile charging station dispatch algorithm. Energy Procedia. 2015. V. 68. pp. 326–335.
11. Global EV. Outlook 2019, 2019 (accessed Jan 28, 2020), <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
12. Clinton B. C. and Steinberg D. C. Providing the spark: Impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption. Journal of Environmental Economics and Management. 2019. V. 98. p. 102255. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069618303115>
13. Chauhan V. and Gupta A. Scheduling mobile charging stations for electric vehicle charging, in 2018 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, 2018, pp. 131–136.
14. Halvorson B., NIO is providing a fully charged battery in 3 minutes for free in china, (accessed Nov 28, 2019). Available: [https://www.greencarreports.com/news/1124806\\_nio-is-providing-a-fully-charged-battery-in-3-minutes-for-free-in-china](https://www.greencarreports.com/news/1124806_nio-is-providing-a-fully-charged-battery-in-3-minutes-for-free-in-china)
15. Cui S., Zhao H., Chen H., and Zhang C. The mobile charging vehicle routing problem with time windows and recharging services. Computational intelligence, 2018.
16. Yang S.-N., Wang H.-W., C.-H. Gan, et al. Mobile charging information management for smart grid networks. International journal of information management. 2013. V. 33. no. 2. pp. 245–251.
17. Atmaja T.D., et al. Energy storage system using battery and ultracapacitor on mobile charging station for electric vehicle. Energy Procedia. 2015. V. 68. pp. 429–437.
18. Nation-e launches the first mobile charging station for electric cars: Angel car, (accessed Nov 28, 2019), <https://www.businesswire.com/news/home/20100912005119/en/Nation-E-Lauches-Mobile-ChargingStation-Electric-Cars>.

19. Evaluating electric vehicle charging impacts and customer charging behaviors-experience from six smart grid investment grant projects, office of electricity delivery and energy reliability, US Department of Energy, Electricity Delivery & Energy Reliability, 2014 (accessed Nov 28, 2019), [https://www.smartgrid.gov/files/B3 revised master-12-17-2014 report.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/B3_revised_master-12-17-2014_report.pdf).
20. Bruninga R., "Overlooking 11 charging at-work in the rush for public charging speed," in 2012 IEEE International Electric Vehicle Conference. IEEE, 2012, pp. 1–5.
21. Rotthier B., Van Maerhem T., Blockx P., et al. Home charging of electric vehicles in Belgium, in 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Nov 2013, pp. 1–6.
22. Electrifying world premiere: Volkswagen offers first glimpse of mobile charging station, 2018 (accessed Nov 28, 2019), <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/electrifyingworld-premiere-volkswagen-offers-first-glimpse-of-mobile-chargingstation-4544>.
23. Comparing public electric vehicle charging networks, (accessed Nov 28, 2019). [Online]. Available: <https://www.myev.com/research/comparisons/comparing-public-electric-vehicle-charging-networks>.
24. Cui S., Zhao H., and Zhang C. Multiple types of plug-in charging facilities location-routing problem with time windows for mobile charging vehicles, *Sustainability*. 2018. V. 10. no. 8. p. 2855.
25. Decker C. Electric vehicle charging and routing management via multi-infrastructure data fusion, 2012 (accessed Nov 28, 2019), <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4153&context=theses>.
26. Sun B., Huang Z., Tan X., and Tsang H D. Optimal scheduling for electric vehicle charging with discrete charging levels in distribution grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2016. V. 9. no. 2. pp. 624–634.
27. All Roads Lead to e-Mobility, 2017 (accessed Nov 28, 2019). Available: <https://www.greeneconome.com/wp-content/uploads/2018/04/2017ChargePoint-Charging-Forward-Report.pdf>
28. Wang F., Chen R., Miao L., et al. Location optimization of electric vehicle mobile charging stations considering multi-period stochastic user equilibrium. *Sustainability*. 2019. V. 11, no. 20. p. 5841.
29. Abdulaal A., Cintuglu M.H., Asfour S., and Mohammed O.A. Solving the multivariant ev routing problem incorporating v2g and g2v options. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. 2016. V. 3. no. 1. pp. 238–248.
30. Sousa T.J., Monteiro V., Fernandes JA., et al. New perspectives for vehicle-to-vehicle (v2v) power transfer, in IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2018, pp. 5183–5188.
31. Koufakis A.-M., Rigas E.S., Bassiliades N. Towards an optimal ev charging scheduling scheme with v2g and v2v energy transfer in 2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). IEEE. 2016, pp. 302–307.
32. Mazidi M., Abbaspour A., Fotuhi M., and Rastegar M. Optimal allocation of phev parking lots to minimize distribution system losses in 2015 IEEE Eindhoven PowerTech. IEEE, 2015, pp. 1–6.
33. Schroeder A. and Traber T. The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*. 2012. V. 43. pp. 136–144.
34. Huang S., He L., Gu Y., Wood K. Design of a mobile charging service for electric vehicles in an urban environment. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2014. V. 16. no. 2. pp. 787-798.
35. Dane McFarlane B.J., Matt Prorok and Kemabonta T. Analytical white paper: Overcoming barriers to expanding fast charging infrastructure in the midcontinent region, 2019.
36. Shenzhen The White Book of Charging Piles Deployment and Adopt in Shenzhen at 2017, (accessed Nov 28, 2019). Available: <http://powerlife.com.cn/>.
37. Badawy M.O., Arafat M.N., Ahmed A., et al. Design and implementation of a 75-kw mobile charging system for electric vehicles. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2015. V. 52. no. 1. pp. 369-377.
38. Yu Z., Zhang M., and Yang J. Design of energy management systems for mobile power station of electric vehicles in 2009 International Conference on Information Management. 2009. V. 4. IEEE. pp. 250-253.
39. Mou X., Zhao R., and Gladwin D.T. Vehicle-to-vehicle charging system fundamental and design comparison in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2019, pp. 1628–1633.

40. Wang M., Ismail M., Zhang R., Shen X., et al. Spatio-temporal coordinated v2v energy swapping strategy for mobile pevs. IEEE Transactions on Smart Grid. 2016. V. 9. no. 3, pp. 1566–1579.
41. Li G., Sun Q., Boukhatem L., et al. Intelligent vehicle-to-vehicle charging navigation for mobile electric vehicles via vanet-based communication. IEEE Access. 2019. V. 7. pp. 170–888.
42. Sawers P. FreeWire raises \$15 million to expand portable charging technology for electric vehicles, 2018 (accessed Nov 28, 2019). Available: <https://venturebeat.com/2018/12/04/freewire-raises-15-million-to-expand-portable-charging-technology-for-electric-vehicles>.
43. Beck P. FreeWire deploys battery systems to increase the scalability of EV infrastructure, 2018 (accessed Nov 28, 2019). Available: <https://chargedevs.com/features/freewire-deploys-battery-systems-to-increase-the-scalability-of-ev-infrastructure>
44. S.-N. Yang, H.-W. Wang, C.-H. Gan, and Y.-B. Lin. Mobile charging station service in smart grid networks in 2012 IEEE Third International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). IEEE, 2012, pp. 412–417.
45. Chen. F., Zhao Z., Min G., et al. Speed control of mobile chargers serving wireless rechargeable networks. Future Generation Computer Systems. 2018. V. 80. pp. 242–249.
46. Li Z., Sahinoglu Z., Tao Z., and Teo K.H. Electric vehicles network with nomadic portable charging stations in 2010. IEEE 72nd Vehicular Technology Conference. IEEE, 2010, pp. 1–5.
47. Kedia R. K. and Naick B. K. Review of vehicle route optimisation in 2017. 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE). IEEE. 2017. pp. 57–61.
48. Shao S., Guan W., and Bi J. Electric vehicle-routing problem with charging demands and energy consumption. IET Intelligent Transport Systems. 2017. V. 12. No 3. pp. 202–212.
49. Francis S. Top 20 electric vehicle charging station companies, 2019 (accessed Nov 28, 2019). Available: <https://roboticsandautomationnews.com/2019/05/01/top-20-electric-vehicle-charging-station-companies/22138/>.
50. Lambert F. Nio is courting tesla owners with mobile charging stations inside electric vans. 2018 (accessed Nov 28, 2019), <https://electrek.co/2018/07/26/nio-courting-tesla-owners-mobile-charging-stations-electric-vans>.
51. Lambert F. Tesla deploys new mobile supercharger powered by megapack. 2019 (accessed Nov 28, 2019), <https://electrek.co/2019/11/29/tesla-mobile-supercharger-megapack/>.

#### Авторы публикации

**Сафин Альфред Робертович** – д-р. техн. наук., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Ившин Игорь Владимирович** – д-р. техн. наук., заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Цветков Алексей Николаевич** – канд. техн. наук., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Петров Тимур Игоревич** – ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Басенко Василий Романович** – ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Манахов Валерий Александрович** – ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

#### References

1. Velnikovskiy AA. Methodology for substantiating the regional infrastructure of automobile gas-filling compressor stations (on the example of St. Petersburg): author. diss. Cand. tech. Sciences: 05.22.10. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. St. Petersburg, 2019. 28 p.

2. Asadov DG. Substantiation of the effectiveness of technical service of mobile electrical units for transport purposes during operation: diss. Dr. tech. Sciences: 05.20.03 / Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. Moscow, 2012 . 305 p.
3. *World experience in stimulating the market for environmentally friendly modes of transport*. Deloitte. Access mode: [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/Corporate\\_responsibility/russian/ru\\_international\\_experience\\_rus.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/Corporate_responsibility/russian/ru_international_experience_rus.pdf).
4. Gorbunova AD, Anisimov IA. *Scientific substantiation of the location of charging stations for electric vehicles*. Progressive technologies in transport systems: collection of materials of the XIV international scientific and practical conference. Orenburg: Orenburg State University, 2019. pp. 158–162.
5. Gorbunova AD, Anisimov IA. *Analysis of scientific approaches to substantiating the location of the charging infrastructure for electric vehicles*. Progressive technologies and processes: collection of scientific articles of the 6th All-Russian scientific and technical conference with international participation. Kursk: South-West State University. 2019. pp. 66–68.
6. *On the approval of the Strategy for the Development of the Automotive Industry until 2025*: Order of the Government of the Russian Federation of 28.04.2018 No. 831-r. Government of Russia. The documents. Access mode: <http://government.ru/docs/32547/>.
7. BNE. Finance, Electric Vehicle Outlook, 2019, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
8. Hauke E, Russell H, Stefan K, and Shivika S. Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand, (accessed Nov 28, 2019), <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand>.
9. Cui S., Zhao H., Wen H. Locating multiple size and multiple type of charging station for battery electricity vehicles. Sustainability. 2018;10(9):3267.
10. Atmaja TD. and Mirdanies M. Electric vehicle mobile charging station dispatch algorithm. *Energy Procedia*. 2015;68:326–335.
11. Global EV Outlook 2019, 2019 (accessed Jan 28, 2020), <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
12. Clinton B.C. and Steinberg DC. Providing the spark: Impact of financial incentives on battery electric vehicle adoption. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2019;98:102255. Available:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0095069618303115>
13. Chauhan V. and Gupta A. *Scheduling mobile charging stations for electric vehicle charging in 2018 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. IEEE. 2018, pp. 131–136.
14. Halvorson B. NIO is providing a fully charged battery in 3 minutes for free in china, (accessed Nov 28, 2019). Available: [https://www.greencarreports.com/news/1124806\\_nio-is-providing-a-fully-charged-battery-in-3-minutes-for-free-in-china](https://www.greencarreports.com/news/1124806_nio-is-providing-a-fully-charged-battery-in-3-minutes-for-free-in-china).
15. Cui S., Zhao H., Chen H. The mobile charging vehicle routing problem with time windows and recharging services,” Computational intelligence. 2018.
16. S.-N. Yang, H.-W. Wang, C.-H. Gan, and Y.-B. Lin, Mobile charging information management for smart grid networks. *International journal of information management*.2013;33(2):245–251.
17. Atmaja TD, et al. Energy storage system using battery and ultracapacitor on mobile charging station for electric vehicle. *Energy Procedia*. 2015;68:429-437.
18. *Nation-e launches the first mobile charging station for electric cars: Angel car*, , <https://www.businesswire.com/news/home/20100912005119/en/Nation-E-Launches-Mobile-ChargingStation-Electric-Cars>. accessed: Nov 28, 2019.
19. *Evaluating electric vehicle charging impacts and customer charging behaviors-experience from six smart grid investment grant projects, office of electricity delivery and energy reliability*. US Department of Energy, Electricity Delivery & Energy Reliability, 2014 (accessed Nov 28, 2019), [https://www.smartgrid.gov/files/B3\\_revised\\_master\\_12-17-2014\\_report.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/B3_revised_master_12-17-2014_report.pdf).
20. Bruninga R. *Overlooking II charging at-work in the rush for public charging speed in 2012*. IEEE International Electric Vehicle Conference. IEEE. 2012, pp. 1–5.
21. Rotthier B, Van Maerhem T, Blockx P, et al. *Home charging of electric vehicles in Belgium in 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*. Nov 2013, pp. 1–6.
22. *Electrifying world premiere*. Available at: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/electrifyingworld-premiere-volkswagen-offers-first-glimpse-of-mobile-chargingstation-4544>. accessed: Nov 28, 2019. *Volkswagen offers first glimpse of mobile charging station*. 2018.

23. *Comparing public electric vehicle charging networks*. Available: <https://www.myeve.com/research/comparisons/comparing-public-electric-vehicle-charging-networks>. accessed Nov 28, 2019.
24. Cui S, Zhao H and Zhang C. Multiple types of plug-in charging facilities location-routing problem with time windows for mobile charging vehicles. *Sustainability*. 2018;10(8):2855.
25. Decker C. Electric vehicle charging and routing management via multi-infrastructure data fusion. 2012. Available at: <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4153&context=theses>. accessed Nov 28, 2019.
26. Sun B, Huang Z, Tan X, and Tsang DH. *Optimal scheduling for electric vehicle charging with discrete charging levels in distribution grid*. IEEE Transactions on Smart Grid. 2016;9(2):624–634.
27. *All Roads Lead to e-Mobility*, 2017. Available: <https://www.greeneconome.com/wp-content/uploads/2018/04/2017-ChargePoint-Charging-Forward-Report.pdf>. (accessed Nov 28, 2019)
28. Wang F, Chen R, Miao L, et al. Location optimization of electric vehicle mobile charging stations considering multi-period stochastic user equilibrium. *Sustainability*. 2019;11:20:5841.
29. Abdulaal A, Cintuglu MH, Asfour S, et al. *Solving the multivariant ev routing problem incorporating v2g and g2v options*. IEEE Transactions on Transportation Electrification. 2016;3(1):238–248.
30. Sousa TJ, Monteiro V, Fernandes JA, et al. *New perspectives for vehicle-to-vehicle (v2v) power transfer/* in IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2018, pp. 5183–5188.
31. Koufakis A.-M., Rigas E.S., Bassiliades N., et al. *Towards an optimal ev charging scheduling scheme with v2g and v2v energy transfer /* in 2016 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). IEEE. 2016, pp. 302–307.
32. Mazidi M, Abbaspour A, Fotuhi M, et al. Optimal allocation of phev parking lots to minimize distribution system losses, in 2015 IEEE Eindhoven PowerTech. IEEE, 2015, pp. 1–6.
33. Schroeder A. and Traber T. The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*. 2012;43:136–144.
34. S. Huang, LHe, Gu KY., Wood, et al. *Design of a mobile charging service for electric vehicles in an urban environment*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2014;16(2):787–798.
35. Dane BJ, McFarlane, Matt Prorok, et al. Analytical white paper: Overcoming barriers to expanding fast charging infrastructure in the midcontinent region, 2019.
36. Shenzhen. The White Book of Charging Piles Deployment and Adopt in Shenzhen at 2017, (accessed Nov 28, 2019). Available: <http://powerlife.com.cn/>
37. Badawy MO., Arafat MN, A. Ahmed S, et al. Design and implementation of a 75-kw mobile charging system for electric vehicles. IEEE Transactions on Industry Applications. 2015;52(1):369–377.
38. Yu Z, Zhang M, and Yang J. *Design of energy management systems for mobile power station of electric vehicles* in 2009 International Conference on Information Management. 2009;4: 250–253.
39. Mou X, Zhao R, and Gladwin DT. *Vehicle-to-vehicle charging system fundamental and design comparison* in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2019, pp. 1628–1633.
40. Wang M, Ismail M, Zhang R, et al. *Spatio-temporal coordinated v2v energy swapping strategy for mobile pevs*. IEEE Transactions on Smart Grid. 2016;9(3):1566–1579.
41. Li G, Sun Q, Boukhatem L, Wu J, et al. *Intelligent vehicle-to-vehicle charging navigation for mobile electric vehicles via vanet-based communication*. IEEE Access. 2019;7:170–888.
42. Sawers P. *FreeWire raises \$15 million to expand portable charging technology for electric vehicles*, 2018. Available: <https://venturebeat.com/2018/12/04/freewire-raises-15-million-to-expand-portable-charging-technology-for-electric-vehicles>. Accessed Nov 28, 2019.
43. Beck P. *FreeWire deploys battery systems to increase the scalability of EV infrastructure*. 2018. accessed Nov 28, 2019. Available: <https://chargedevs.com/features/freewire-deploys-battery-systems-to-increase-the-scalability-of-ev-infrastructure>
44. S.-N. Yang, H.-W. Wang, C.-H. Gan, and Y.-B. Lin. *Mobile charging station service in smart grid networks*. in 2012 IEEE Third International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm). IEEE, 2012, pp. 412–417.

45. F. Chen, Z. Zhao, G. Min, et al. Speedcontrol of mobile chargers serving wireless rechargeable networks. *Future Generation Computer Systems*. 2018;80:242–249.

46. Li Z., Sahinoglu Z., Tao Z. *Electric vehicles network with nomadic portable charging stations*. in 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference. IEEE, 2010, pp. 1–5.

47. Kedia RK. and Naick BK. *Review of vehicle route optimization*. in 2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE). IEEE. 2017, pp. 57–61.

48. Shao S, Guan W, and Bi J. *Electric vehicle-routing problem with charging demands and energy consumption*. *IET Intelligent Transport Systems*. 2017;12(3):202–212.

49. Francis S. *Top 20 electric vehicle charging station companies*. 2019. Available: <https://roboticsandautomationnews.com/2019/05/01/top-20-electric-vehicle-charging-station-companies/22138/>.(accessed Nov 28, 2019)

50. Lambert F. *Nio is courting tesla owners with mobile charging stations inside electric vans*. 2018. <https://electrek.co/2018/07/26/nio-courting-tesla-owners-mobilecharging-stations-electric-vans>. (accessed Nov 28, 2019).

51. Lambert F. *Tesla deploys new mobile supercharger powered by megapack*. Available at <https://electrek.co/2019/11/29/tesla-mobile-supercharger-megapack/>.(accessed Nov 28, 2019),

### **Authors of the publication**

*Alfred R. Safin* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Igor V. Ivshin* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Alexey N. Tsvetkov* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Timur I. Petrov* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Vasily R. Basenko* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Valery A. Manakhov* – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Получено* 22.10.2021г.

*Отредактировано* 29.10.2021г.

*Принято* 29.10.2021г.