

УДК 621.31

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧНОЙ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Федотовский О.Е. Шелмаков С.В.

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, e-mail: tugarin013@gmail.com, shelwood@yandex.ru*

В настоящее время автомобили являются одним из основных источников загрязнения воздуха. В крупных городах в атмосфере содержится в 10 раз больше аэрозолей и в 25 раз больше газов. При этом 60-70% газообразных загрязнителей поступает от автомобильного транспорта. В результате чего особое распространение получили электромобили. В статье на основе анализа тенденций развития электромобильности обосновывается актуальность разработки и реализации зарядных станций для электромобилей, использующих в качестве первичного источника энергии фотогальваническую энергию и энергии ветра. Представлена классификация зарядных станций для электромобилей, приведён перечень основных международных стандартов, относящихся к сфере зарядной инфраструктуры, проанализированы некоторые проблемы, связанные с зарядкой электромобилей, рассмотрены существующие и перспективные типы разъёмов для кондуктивной зарядки электромобилей, режимы работы индуктивной зарядки. На основе анализа собранного материала определено, что наиболее эффективно использовать фотогальванические элементы и/или ветрогенераторы, а в качестве резервного источника энергоснабжения использовать централизованную сеть электроснабжения. Такая схема называется комбинированной и она при использовании соответствующего двунаправленного оборудования и буферного накопителя энергии является наиболее гибкой и приспособленной к крайне неравномерному характеру работы генерирующего оборудования и неравномерному характеру потребления энергии.

Ключевые слова: электромобили, зарядка электромобилей, «зеленая» энергия, транспорт, зарядная станция

DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CHARGING STATION ELECTRIC VEHICLES

Fedotovskiy O.E. Shelmakov S.V.

*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow,
e-mail: tugarin013@gmail.com, shelwood@yandex.ru*

Automobiles are currently one of the main sources of air pollution. In large cities, the atmosphere contains 10 times more aerosols and 25 times more gases. At the same time, 60-70% of gaseous pollutants are destroyed by road transport. As a result, electric vehicles have become widespread. Based on the analysis of trends in the development of electric mobility, the article substantiates the relevance of the development and implementation of charging stations for electric vehicles using photovoltaic energy and wind energy as the primary energy source. The classification of charging stations for electric vehicles is presented, a list of the main international standards related to the field of charging infrastructure is given, some problems related to charging electric vehicles are analyzed, existing and promising types of connectors for conductive charging of electric vehicles, modes of operation of inductive charging are considered. Based on the analysis of the collected material, it was determined that it is most effective to use photovoltaic cells and/or wind generators, and to use a centralized power supply network as a backup source of energy supply. Such a scheme is called a combined one and, when using the appropriate bidirectional equipment and a buffer energy storage, it is the most flexible and adapted to the extremely uneven nature of the operation of generating equipment and the uneven nature of energy consumption.

Keywords: electric vehicles, electric vehicle charging, green energy, transport, charging station

В настоящее время автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения воздуха. Дорожный транспорт – один из основных источников выбросов парниковых газов (в 2016 году на его долю приходилось около 12% [1]) и потребление нефти (в 2018 году на его долю приходилось порядка 49,3% [2]). По состоянию на 2015 год разведанных запасов нефти хватит на 50,7 лет [3]. В крупных городах до 85...93% загрязняющих веществ (ЗВ) поступает в атмосферу от автомобильного транспорта [4] [5]. Указанные обстоятельства объясняют быстрый рост парка электромобилей в мире (рис. 1).

По состоянию на 1 июня 2021 года парк электромобилей (BEV), гибридов (HEV) и подключаемых гибридов (PHEV) в России составил 179,3 тыс. экземпляров, или 0,4% от всего парка легковых автомобилей (45,17 млн машин). В России за 2021 год было продано 845 электромобилей, это в 2,2 раза больше чем в 2020 году [6].

Наряду с ростом парка электромобилей растёт и количество зарядных станций. На конец 2020 года в мире насчитывалось более 1,3 миллиона общественных зарядных станций для электромобилей (рис. 2).

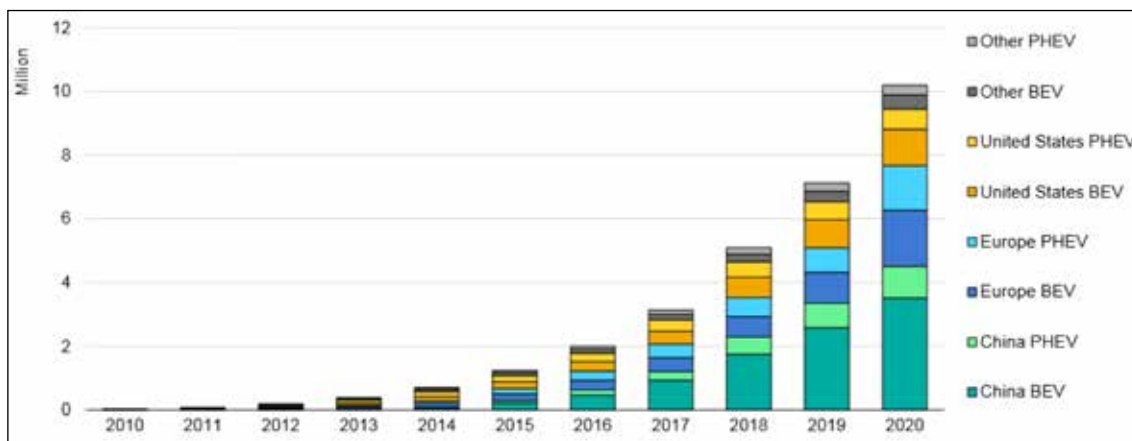


Рис. 1. Мировой парк электромобилей, 2010-2020 гг. (PHEV – подключаемые гибриды; BEV – батарейные электромобили) [7]

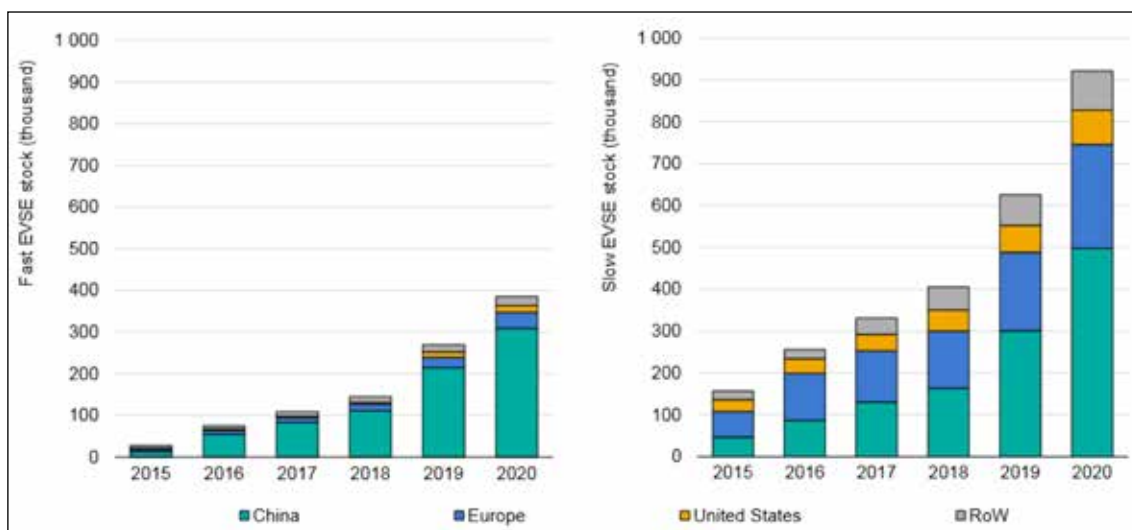


Рис. 2. Количество быстрых (англ. Fast) и медленных (англ. Slow) общедоступных зарядных устройств для электромобилей малой грузоподъемности (англ. electric vehicle supply equipment, EVSE), 2015-2020 гг. [7]

Большинство зарядных станций подключены к существующей распределительной электросети, что вызывает ряд проблем, связанных с большой мощностью, необходимой для обеспечения быстрого заряда электромобилей. Кроме того существующее распределение электрогенерирующих мощностей по виду первичной энергии не позволяет говорить о полной экологичности электромобилей, поскольку большая часть вырабатываемой электроэнергии производится из ископаемых топлив. В связи с этим всё большую популярность в мире получают зарядные станции, использующие в качестве первичной энергии солнечную энергию, энергию ветра или другие виды возобновляющейся энергии.

Цель исследования – разработка концепции зарядной станции для электромобилей, использующей экологичные возобновляющиеся виды энергии в качестве первичного энергоисточника.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на основе поиска, изучения и анализа информации в сети Интернет.

Результаты исследования и их обсуждение

Существующие типы зарядного оборудования для электромобилей представлены на рис. 3.

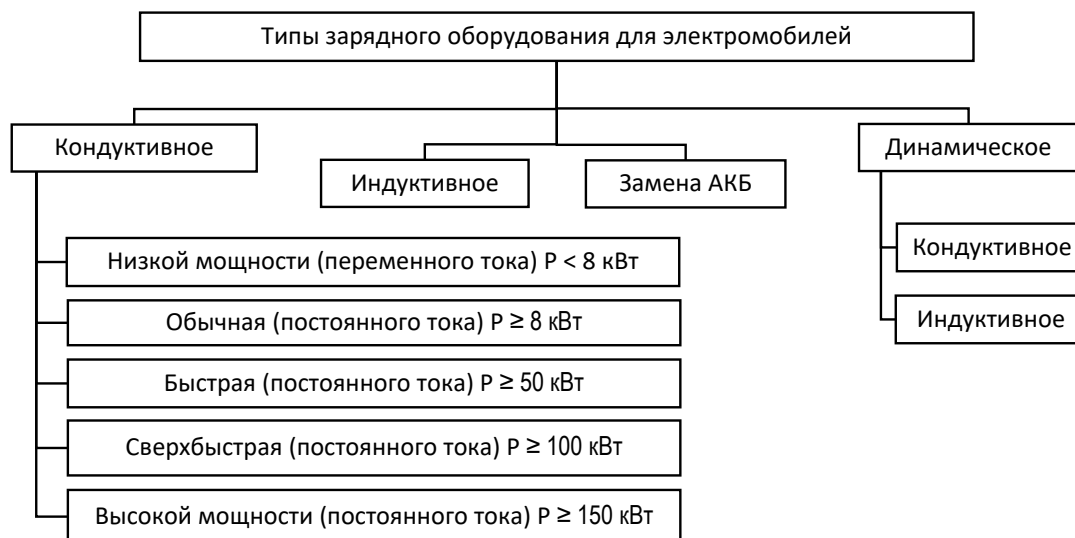


Рис. 3. Существующие типы зарядного оборудования для электромобилей

Основные международные стандарты зарядки электромобилей

Номер стандарта	Основное содержание
Кондуктивная зарядка	
IEC 62196	Серия стандартов для кондуктивных зарядных разъёмов (штекеров, розеток) для электромобилей
IEC 61851	Серия стандартов, охватывающих технические характеристики зарядной станции, связанные с безопасностью, электромагнитной совместимостью и связью между транспортным средством и зарядным устройством (включая взаимодействие транспортного средства и электросети)
ISO 17409	Технические требования к подключению электромобилей к внешнему источнику электропитания
ISO 15118	Серия стандартов для интерфейсов связи транспортного средства с сетью, протоколов и требований к данным
SAE J1772	Технические характеристики кондуктивных зарядных разъёмов (штекеров, розеток) для электромобилей
SAE J2953	Требования и спецификации, в соответствии с которыми конкретный электромобиль и зарядное устройство могут считаться совместимыми
SAE J3068	Система передачи мощности электромобиля с использованием трёхфазного соединителя переменного тока
SAE J3105	Система передачи мощности электромобиля с использованием кондуктивных автоматизированных соединительных устройств (включая пантографы)
Индуктивная зарядка	
IEC 61980	Серия стандартов и спецификаций для оборудования, необходимого для беспроводной передачи электроэнергии от сети питания к электрическим дорожным транспортным средствам
ISO 19363	Требования к безопасности и совместимости бортового оборудования, обеспечивающего беспроводную передачу энергии в магнитном поле для зарядки электромобилей
SAE J1773	Рекомендуемые методы индуктивной зарядки электромобилей
SAE J2954	Технические требования к безопасности, функциональной совместимости и электромагнитной совместимости беспроводной передачи энергии для электромобилей
Быстрая смена аккумуляторной батареи	
IEC 62840	Серия стандартов для систем быстрой смены аккумуляторов электромобилей

Кондуктивная (посредством проводов) зарядка подразделяется на классы по мощности согласно рекомендациям Charging Interface Initiative (CharIN e.V.), глобальной ассоциации с более чем 250 членами, занимающейся продвижением функциональной совместимости зарядного оборудования на основе Комбинированной системы зарядки (англ. Combined Charging System, CCS) в качестве глобального стандарта для зарядки транспортных средств всех видов [8].

Международные стандарты зарядки электромобилей в значительной степени определяются деятельностью, проводимой Международной электротехнической комиссией (IEC), Международной организацией по стандартизации (ISO) и (особенно для Северной Америки и Японии) Обществом инженеров-автомобилестроителей (SAE). В таблице приводятся краткое изложение основных международных стандартов зарядки электромобилей [9].

Среди проблем зарядки электромобилей можно выделить три основных [10]:

- аккумулятору затруднительно принять большой заряд энергии за короткий промежуток времени, что связано с химическими процессами, протекающими внутри него;
- сети электроснабжения проблематично обеспечить достаточную мощность для быстрой зарядки сразу нескольких электромобилей;
- проблематично эффективно, безопасно и удобно подключить электромобиль к распределительной электросети.

Рекомендуемый зарядный ток для Li-Ion-батарей составляет «1С», то есть ток зарядки (в А) должен быть равен значению ёмкости аккумулятора (в А*ч) или его ёмкости (в кВ*ч), делённой на напряжение батареи (в В). Для литий-железо-фосфатных (LFP или LiFePO_4) и литий-титанатных (LTO или $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) аккумуляторов допускается зарядка высоким током, однако в этом случае лимитирующим фактором становится перегрев ячеек и коммутационных соединений. Например, при попытке зарядить 500-вольтовую батарею ёмкостью 25 кВ*ч за три минуты током «20С», то величина этого тока будет равна $(25000/500) \cdot 20 = 1000$ А. Чтобы выдержать такой высокий ток, даже за короткое время, потребуются массивные электропроводники как внутри ячеек, так и между ячейками. Кроме того, высокие токи внутри ячеек приводят к росту перенапряжения, которое необходимо преодолевать при зарядке, а, следовательно, к росту потерь и снижению эффективности работы батареи в разрядно-зарядном цикле.

Зарядная станция подразумевает зарядку сразу нескольких автомобилей. Таким

образом мощность сверхбыстрой зарядки может достигать 5 МВт. Учитывая пиковый характер нагрузки с возможными гармоническими составляющими, потребуется источник высокого напряжения порядка 11 кВ, что сопоставимо с потребностями крупного коммерческого или промышленного предприятия.

Третья проблема связана с коммутацией батареи и зарядного оборудования. Зарядное оборудование для сверхбыстрой зарядки с его массивными проводниками и изоляцией располагается не на борту электромобиля, а на стационарной зарядной станции. Это обуславливает необходимость международной стандартизации интерфейсов, не только с позиции силовых разъемов, но и с позиции контрольных сигналов, используемых для контроля над процессом заряда батареи, который может представлять опасность.

Зарядка может осуществляться путём прямого подсоединения электромобиля к электрическим сетям переменного тока. В этом случае используется бортовое зарядное устройство электромобиля, которое преобразует переменный ток оборудования в постоянный, которым и заряжается тяговая батарея. Согласно стандарту IEC 61851, возможны три режима зарядки переменным током:

- «Mode 1» – режим зарядки от бытовой сети, с максимальным током 16 А. Данный режим запрещен в США и ряде других стран из соображений безопасности;
- «Mode 2» – режим зарядки с использованием интегрированной в кабель системой защиты, максимальный ток данного режима составляет 32 А. Кабель, используемый в таких зарядных станциях, обеспечивает защитные функции обнаружения присутствия земли и остаточного тока, защиты от перегрузок по току и перегрева;
- «Mode 3» – режим зарядки с использованием специального оборудования, обеспечивающим защиту и контроль над процессом зарядки. Максимальный ток такой зарядки 63 А.

«Быстрые» виды зарядок требуют специальных источников питания и зарядного оборудования постоянным током, включающего цепи управления и коммуникации. При зарядке электромобиля от станции постоянного тока, контролем процедуры занимается не бортовое устройство, а сама зарядная станция. Максимальный ток таких станций составляет 400 А и напряжение до 600 В, режим зарядки у таких станций, согласно стандарту IEC 61851, называется «Mode 4». На данный момент большинство быстрых зарядок имеет мощность 50 кВт,

но в скором времени планируется переход на более мощные зарядные станции с мощностью до 240 кВт.

Ведутся разработки стандартов и оборудования для зарядки грузовых электромобилей, которые для обеспечения приемлемого времени зарядки требуют мощности порядка 1 МВт и даже более (4,5 мВт, 1500 В, 3000 А). Примерами таких разработок являются [9]:

- зарядка высокой мощности для коммерческих автомобилей (англ. High Power Charging for Commercial Vehicles, HPCCV), разрабатываемая ассоциацией CharIn;

- зарядка сверхвысокой мощности, разработанная совместно Советом по электроэнергетике Китая (СЕС) и ассоциацией CHAdeMO с рабочим названием «ChaoJi».

В качестве коннектора для зарядок с переменным током используют:

- разъём американского стандарта SAE J1772-2009 (иногда называемый «Yazaki» по наименованию первой фирмы-изготовителя) для зарядки от однофазной сети;

- разъём немецкого стандарта VDE-AR-E 2623-2-2 (иногда называемый «Mennekes» по наименованию первой фирмы – изготовителя) для однофазной или трёхфазной сети.

Для подключения электромобилей к станциям быстрой зарядки постоянного тока используются как универсальные, так и специализированные разъёмы.

К универсальным разъёмам относятся разъёмы типа Yazaki и типа Mennekes, дополненные двумя дополнительными штырьками увеличенного сечения для силовых

линий постоянного напряжения, расположенными снизу от разъёма переменного тока в специальной секции. Они называются SAE J1772 (Combo 1) и CCS (Combo 2). Combo 1 используется в Северной Америке, а Combo 2 – в Европе.

Кроме того, компания Tesla (США) использует разъём типа Mennekes, переключающийся из режима подачи трёхфазного переменного тока (по четырём штырькам) в режим подачи постоянного тока на станциях «Supercharger» по этим же штырькам, но в спаренном варианте.

К специализированным разъёмам относятся:

- 10-штырьковый разъём стандарта JEVS G105-1993 (англ. *Japan electric vehicle standard* – Японский стандарт электромобилей), более известный под торговой маркой CHAdeMO (CHAdeMO – это аббревиатура от фр. «CHArge de MOve» – «заряжая движение»). С другой стороны это игра слов: «O cha demo ikaga desuka» по-японски означает «Давайте выпьем чаю во время зарядки», что намекает на небольшое время, необходимое для зарядки электромобиля. Иногда называется «JARI/Терсо» по наименованию первой фирмы-изготовителя). Основными её сторонниками являются японские автопроизводители;

- 9-штырьковый разъём стандарта GB/T 20110530, (иногда называемый «Catsrc» по наименованию первой фирмы-изготовителя) используемый некоторыми китайскими автопроизводителями.

Изображения коннекторов для быстрой зарядки электромобилей показаны на рис. 4.



Рис. 4. Коннекторы для быстрой зарядки электромобилей [11]

Принцип работы индуктивной (беспроводной) зарядки основан на формировании магнитного поля, благодаря протекающему переменному току по обмотке первичной катушки. Это магнитное поле создает ЭДС, достигая и проходя через обмотку вторичной катушки. Эффективность такой зарядки напрямую зависит от расстояния между обмотками, чем они дальше друг от друга, тем ниже эффективность. Использование резонанса и изменение формы волны управляющего тока от синусоидальной до несинусоидальной несколько увеличивает дальность передачи.

При магнитно-резонансной индукции передатчик и приёмник настроены на одну частоту. Передающая и приёмная катушки, как правило, представляют собой однослойные соленоиды или плоскую спираль с набором конденсаторов, которые позволяют настроить принимающий элемент на частоту передатчика.

Предусматривается использование рабочего диапазона частот 81,39...90 кГц и четырёх уровней мощности, совместимых с режимами IEC 61851:

- WPT 1 – 3,7 кВт;
- WPT 2 – 7,7 кВт;
- WPT 3 – 11 кВт;
- WPT 4 – 22 кВт.

Положительными сторонами беспроводной зарядки являются удобство, надёжность и отсутствие износа. Минусами являются более низкий КПД в сравнении с кондуктивной зарядкой и высокая цена оборудования.

Динамическая зарядка электромобилей (англ. Electric road systems, ERS) осуществляется непосредственно в процессе их движения по дороге, оборудованной кондуктивными или индуктивными устройствами передачи электроэнергии, которые могут быть размещены сбоку от проезжей части, внутри дорожного полотна или подвешены над дорогой. Ряд демонстрационных проектов для беспроводных систем был разработан во Франции, Корее, Италии, Германии, Испании, Швеции и США [9].

Высокая номинальная мощность зарядных станций для электромобилей имеет важные последствия для воздействия на систему электроснабжения. Как минимум, требуется, чтобы расположение зарядных станций разрабатывалось согласованно с пропускной способностью системы транспортировки и распределения электроэнергии. Кластеризация зарядных станций высокой мощности в определённых местах, вероятно, потребует значительных инвестиций в укрепление сети и/или установку сетевых хранилищ электроэнергии в качестве буфера.

Умные сети электроснабжения – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надёжность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства и распределения электроэнергии. Развитие технологии умных сетей также означает фундаментальную реорганизацию рынка услуг электроэнергетики, несмотря на то, что терминология на первый взгляд предполагает только развитие технической инфраструктуры.

Электромобили прекрасно вписываются в модель новой децентрализованной и «умной» энергосистемы. С одной стороны, для зарядки множества электромобилей потребуются дополнительные мощности. Но с другой стороны, электромобили, подключённые к зарядной инфраструктуре, становятся её частью, позволяя повысить гибкость управления энергопотоками за счёт использования бортовых аккумуляторов как части общей сетевой накопительной ёмкости. Большую часть времени суток частные электромобили стоят на парковках в подключённом к сети состоянии и с полностью заряженным бортовым накопителем энергии. Поэтому их можно использовать для выдачи энергии в сеть при необходимости покрытия пиковых нагрузок или в аварийных/чрезвычайных ситуациях. Владельцы электромобилей могли бы даже получать от этого прибыль. Также следует учитывать возможность «перевода» подержанных бортовых накопителей энергии, уже не обеспечивающих требуемого запаса хода электромобиля, в разряд стационарных буферных накопителей, продляя срок их полезного использования.

Поскольку большинство зарядных станций для электромобилей подключены и получают энергию от централизованной электросети, экологические преимущества электромобилей будут проявляться по мере экологизации энергетической системы. Доля производства электроэнергии в мире и России по источникам (англ. Electricity Mix) показана на рис. 5 и 6. Пока что большая часть электрогенерации основана на энергии ископаемых топлив.

Сравнительно недавно во многих странах мира начали появляться зарядные станции, работающие от автономных альтернативных источников энергии. Наиболее широкое распространение получили зарядные станции, работающие от энергии солнца и/или энергии ветра. Существуют как домашние зарядные станции, так и общественные.

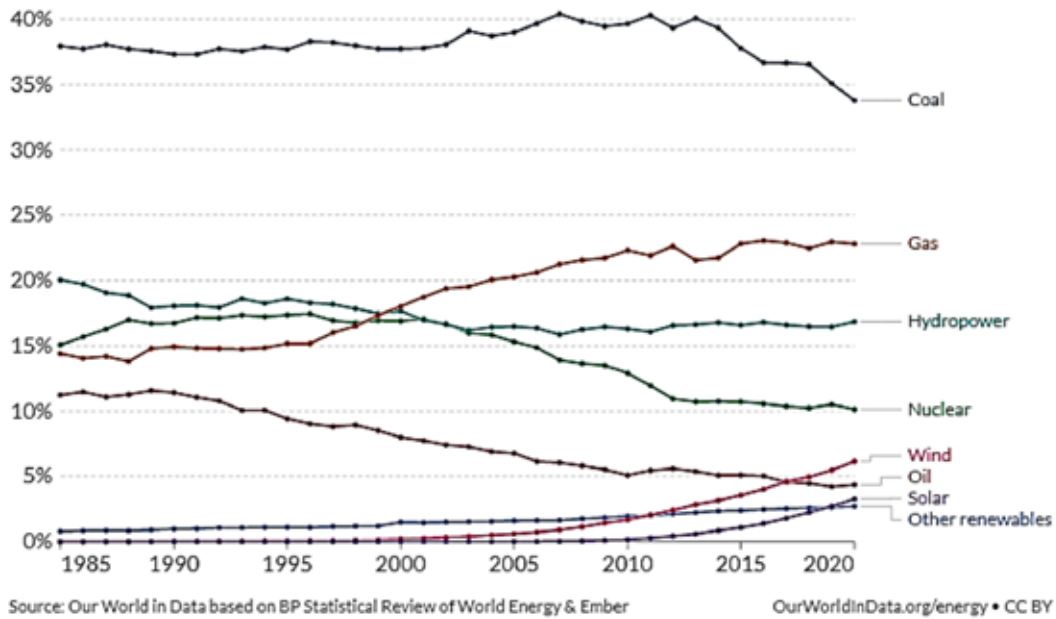


Рис. 5. Доля производства электроэнергии в мире по источникам [12]

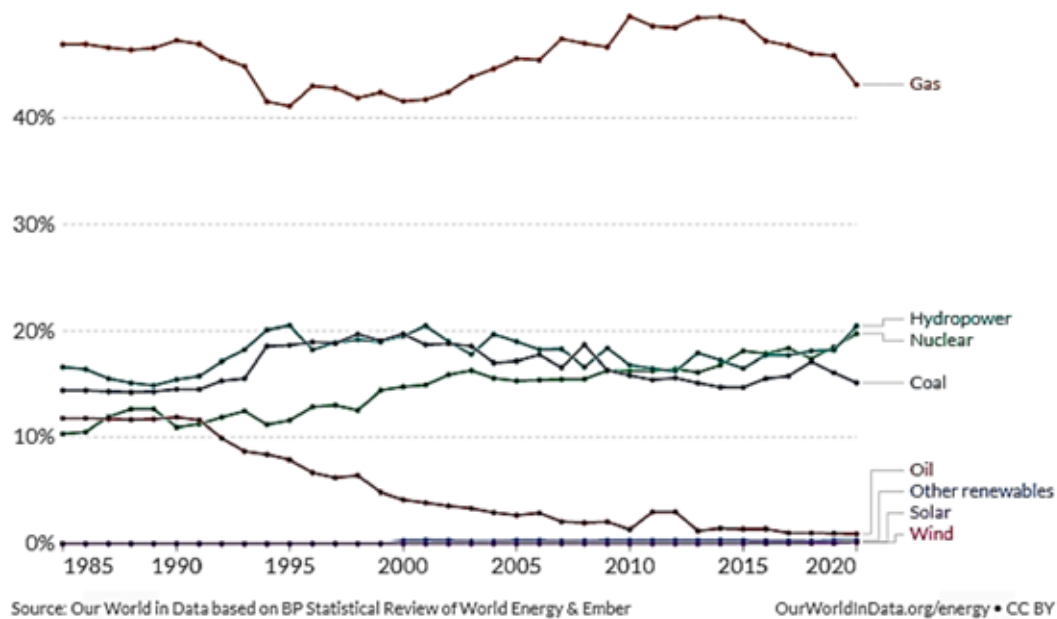


Рис. 6. Доля производства электроэнергии в России по источникам [12]

Наиболее эффективно использовать фотогальванические элементы и/или ветрогенераторы, а в качестве резервного источника энергоснабжения использовать централизованную сеть электроснабжения. Такая схема называется комбинированной и она при использовании соответствующего двунаправленного оборудования и бу-

ферного накопителя энергии является наиболее гибкой и приспособленной к крайне неравномерному характеру работы генерирующего оборудования и неравномерному характеру потребления энергии.

В зоне зарядки электромобилей необходима зона ожидания для водителей и пассажиров. В зоне ожидания может распола-

гаться мотель, кафе, оборудование связи, сервис для обслуживания электромобиля и т.п. Система отопления (или охлаждения), другое оборудование зоны ожидания также являются потребителями энергии, что необходимо учитывать при обосновании характеристик альтернативных источников энергии.

На рис. 7 представлена виртуальная схема комбинированной зарядной станции.

Наиболее подходящими районами России для размещения подобных зарядных станций, как видно из рис. 8 и 9, являются: Алтай, Астрахань, Владивосток, Волгоград, Новороссийск, Крым, Сочи, Ставрополь, Забайкалье.

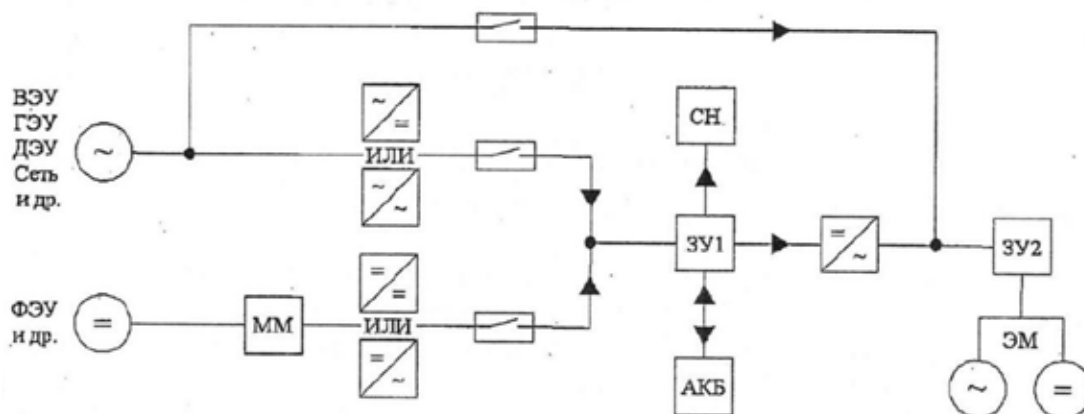


Рис. 7. Виртуальная схема комбинированной зарядной станции
 ВЭУ – ветроэлектрическая установка, ГЭУ – гидроэлектрическая установка,
 ДЭУ – дизельная электрическая установка, ФЭУ – фотоэлектрическая установка,
 ММ – устройство отбора максимальной мощности, АКБ – аккумуляторная батарея,
 СН – собственные нужды ГЭК, ЗУ – зарядное устройство, ЭМ – электромобиль [13]

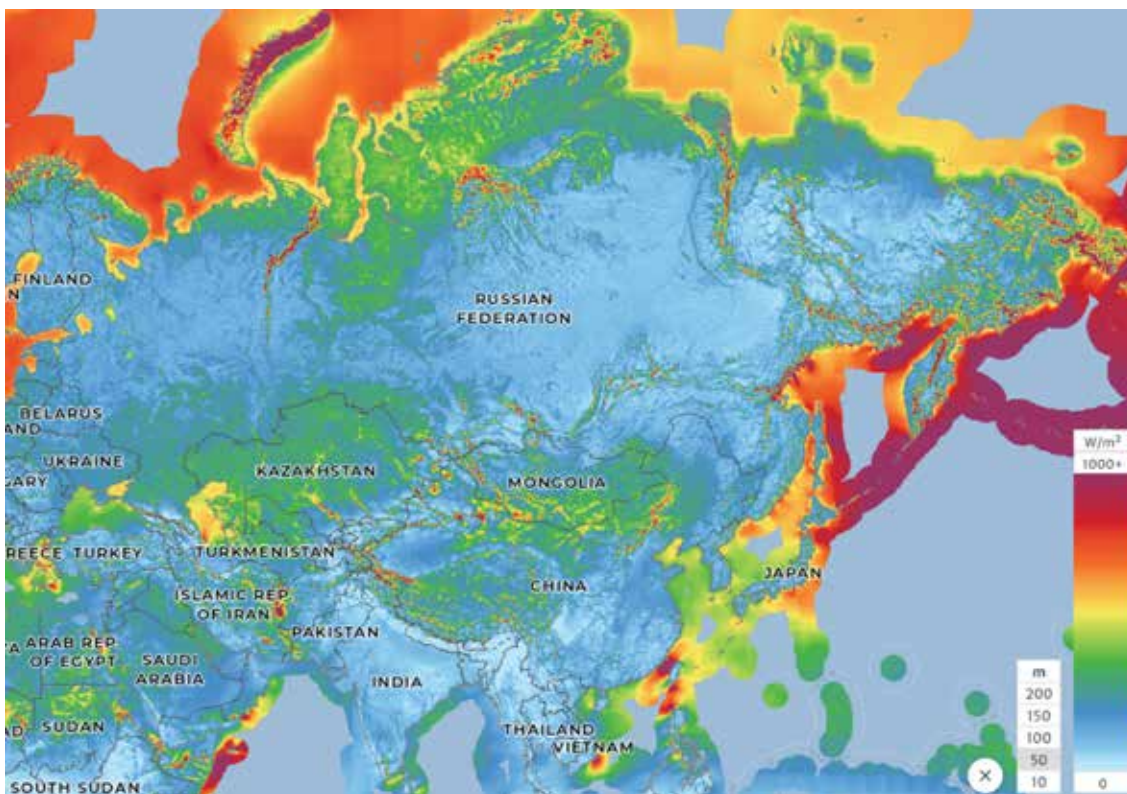


Рис. 8. Карта потенциала мощности ветра ($Вт/м^2$) на высоте 50 м [14]

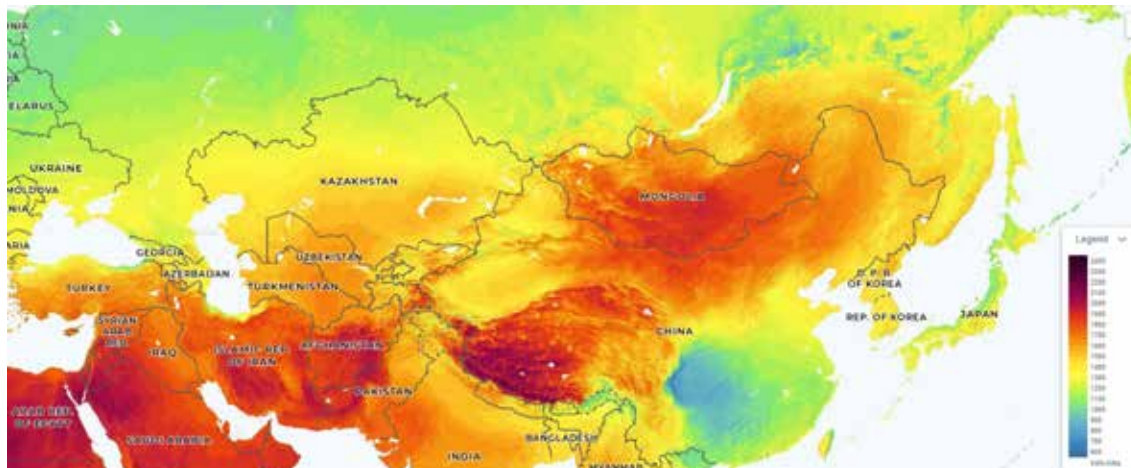


Рис. 9. Карта потенциала годовой выработки фотоэлектрической энергии (кВт·ч/кВт установленной мощности) [15]

Выводы

Концепция зарядной станции для электромобилей, использующей возобновляемые источники энергии актуальна, особенно принимая во внимание перспективы роста количества электромобилей, заявленные обязательства России по снижению выбросов парниковых газов и прогресс в области технологий возобновляемой энергетики. При выборе типа зарядного оборудования следует руководствоваться существующими и перспективными стандартами в этой области, а при выборе и обосновании характеристик электрогенерирующего оборудования – техническими параметрами и климатическими данными.

Список литературы

1. Ritchie H. Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector> (дата обращения: 29.01.2022).
2. World oil final consumption by sector, 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-oil-final-consumption-by-sector-2018> (дата обращения: 29.01.2022).
3. Years of fossil fuel reserves left. [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/grapher/years-of-fossil-fuel-reserves-left> (дата обращения: 29.01.2022).
4. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИИПИ ИГСП: ООО «Студио Арроу», 2019. 247 с.
5. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2018 году / Под редакцией И.А. Серебряцкого. СПб.: ООО «Сезам-принт», 2019. 264 с.
6. Продажи электромобилей в России установили новый рекорд. Аналитическое агентство Автостат: 8 ноября 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/news/49828/> (дата обращения: 29.01.2022).
7. Global EV Outlook 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcba637/GlobalEVOutlook2021.pdf> (дата обращения: 29.01.2022).
8. Position Paper of Charging Interface Initiative e.V. DC CCS Power Classes V7. 2, 09.12.2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.charin.global/technology/knowledge-base/> (дата обращения: 29.01.2022).
9. «Regulations and Standards for Clean Trucks and Buses: On the Right Track?», International Transport Forum Policy Papers, No. 77, OECD Publishing, Paris, ITF. 2020. 71 p.
10. Шелмаков С.В. Улучшение энерго-экологических характеристик автомобилей: учебное пособие. М.: МАДИ, 2018. 282 с.
11. Perspective on standardization developments. CharIN e.V. Expert workshop. Mapping standards for low- and zero-emission electric heavy duty vehicles. 17–18 February 2020. Paris, France.
12. Ritchie H., Roser M. Electricity Mix. Our World in Data. [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/electricity-mix> (дата обращения: 29.01.2022).
13. Шуркалов, П. С. Исследование эффективности использования энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для зарядки электротранспорта: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / Шуркалов Петр Сергеевич. Москва, 2014. 19 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://viewer.rusneb.ru/ru/rsl01005553420?page=1&rotate=0&theme=black> (дата обращения: 29.01.2022).
14. Global Wind Atlas. [Электронный ресурс]. URL: <https://globalwindatlas.info/> (дата обращения: 29.01.2022).
15. Global Solar Atlas. [Электронный ресурс]. URL: <https://globalsolaratlas.info> (дата обращения: 29.01.2022).