

УДК 338.47 DOI: 10.14451/1.235.37

# Влияние электромобилей и цифровых технологий в электроэнергетике на управление спросом на электрическую энергию

© 2024 **Байбулатов Руслан Ямильевич**

Аспирант. Сургутский государственный университет, Сургут.

E-mail: baybulatov@list.ru

© 2024 **Ивкин Кирилл Дмитриевич**

Аспирант. Сургутский государственный университет, Сургут.

E-mail: ivkinkidm551999@gmail.com

© 2024 **Зубарева Любовь Витальевна**

Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономических и учетных дисциплин. Сургутский государственный университет, Сургут.

E-mail: zlv@mail.ru

**Ключевые слова:** ОРЭМ, ВИЭ, энергосистема, электрическая сеть, генерация, vehicle-to-grid, виртуальная электростанция.

Предметом исследования является влияние электромобилей на потребление электрической энергии. Цель исследования состоит в определении влияния электромобилей и цифровых технологий в электроэнергетике на управление спросом на электрическую энергию. Задачами исследования выступают анализ возможности использования концепции vehicle-to-grid (V2G) в составе виртуальных электростанций, оценка участия в управлении спросом на электроэнергию через механизм двухстороннего использования электромобилей V2G, а также определение потенциального эффекта к 2030 году с учетом V2G для участников оптового рынка электрической энергии и мощности (ОРЭМ). Методологическую основу исследования составляют методы анализа и синтеза, методы изучения и обобщения. Системный подход является основополагающим. Особенность авторского подхода заключается в применении принципа ценностного анализа концепции V2G с описанием потенциальных вспомогательных услуг (регулировка частоты, напряжения, сглаживание пиков, выравнивание нагрузки, хранение возобновляемой энергии), которые могут быть обеспечены инфраструктурой, поддерживающей интеграцию транспортных средств в сеть. Авторами описаны инфраструктура и системная архитектура с точки зрения зарядных станций, протоколов связи, безопасности, сетевой сети. В исследовании прогнозируется, что в 2030 году будет наблюдаться значительный рост спроса на электроэнергию, в том числе вызванного неуправляемой и концентрированной зарядкой электромобилей. Кроме того, за счет надлежащего управления и контроля появляется возможность использования огромных резервов батарей электромобилей

для использования в других вторичных приложениях, особенно когда электромобили подключены к электрической сети. Положительный синергетический эффект в решении проблемных вопросов интеграции и функционирования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в составе ОРЭМ России возможно получить только при параллельной реализации максимального количества первоочередных и перспективных шагов, рассмотренных в статье.

## **Введение**

Считается, что электромобили являются возможным решением проблемы сокращения выбросов парниковых газов и в более широком смысле глобальных антропогенных выбросов, которые преимущественно исходят от транспорта и энергетики. Кроме того, они также способствуют диверсификации энергетического рынка и открывают новые экономические возможности. Поскольку электромобили в основном получают электроэнергию из электрической сети, синхронизация этих сетей с производством электроэнергии с низким уровнем выбросов углерода за счет внедрения возобновляемых источников энергии с высокой эффективностью преобразования энергии, несомненно, создаст более чистый ландшафт как в энергетике, так и в секторах мобильности. Кроме того, электромобили также, как правило, имеют более высокую общую эффективность по сравнению с их обычными бензиновыми аналогами, автомобилями на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [3].

Средняя продолжительность, в течение которой электромобили используются в качестве транспортного средства, составляет всего около 5%, что в основном состоит из поездок на работу в будние дни и поездок в выходные. Следовательно, в течение оставшихся 95% своего времени (время простоя) электромобили можно использовать для других целей, используя их батареи и коммуникационные возможности, что составляет основу концепции «автомобиль-сеть» (V2G).

МЭА прогнозирует, что потребность в зарядке электромобилей в 2030 году по сценарию устойчивого развития может составить около

1000 ТВт·ч. Ожидается, что этот спрос в первую очередь будет исходить из таких регионов, как Китай (263 ТВт·ч), США (153 ТВт·ч), Европа (187 ТВт·ч), Индия (83 ТВт·ч) и Япония (21 ТВт·ч). Этот спрос на зарядку составляет около 2% и 6% от общего спроса на электроэнергию в Японии и Европе соответственно [6]. В традиционной системе зарядка электромобиля осуществляется в однонаправленном режиме, при котором электричество поступает только от зарядного устройства (сети) к аккумулятору электромобиля, но не в обратном направлении. Эта однонаправленная зарядка потенциально может привести к нескоординированной зарядке, что приведет к непредсказуемому, изменчивому и концентрированному спросу на электроэнергию в некоторые моменты времени.

## **Использование концепции vehicle-to-grid (V2G) в составе виртуальных электростанций**

Термин «интеграция транспортного средства в сеть» (VGI) является более широким термином или концепцией, которая намекает на возможное синергетическое использование систем «сеть – транспортное средство» (G2V) и V2G. В то время как первое относится к потоку электроэнергии из сети в электромобили (что будет иметь место во время зарядки), а второе способствует потоку электроэнергии из электромобилей в сеть (разрядка, возврат электроэнергии). Здесь также полезно отметить, что термин V2G используется как синоним термина VGI для обозначения потока электроэнергии в обоих направлениях (как от сети, так и к ней). При этом система, подобная системе VGI, может не только снизить нагрузку на сеть (что может возникнуть из-за более высокого спроса на зарядку, создаваемого электромобилями в определенный момент времени).

Интеграция систем зарядки электромобилей и возобновляемых источников энергии оказывает огромное влияние на качество электроэнергии, которую можно получить из сети. В случае скачка энергопотребления из-за одновременной зарядки большого количества электромобилей перегрузка сети отрицательно скажется на качестве электроэнергии. Эту проблему предлагается решить путем интеграции систем возобновляемой энергии (ВИЭ) с зарядными станциями, что также повысит стабильность сети. Такие транспортные средства, которые совместимы с сетью и допускают двунаправленный поток энергии, обычно называются электромобилями с подключением к сети (GEV). Также важно, чтобы сеть, ВИЭ и электромобили находились в постоянной связи друг с другом для эффективного функционирования сети, что может быть надежно достигнуто с помощью телематики V2G.

Преимущества V2G охватывают различные аспекты и предметы и могут быть обобщены следующим образом:

- Для владельца электромобиля – V2G может снизить общую стоимость владения электромобилем, а V2G также может быть расширен для локального использования в качестве домашнего накопителя энергии и аварийного резервного хранилища.
- Для оператора сети V2G служит новым ресурсом как для повышающего, так и для понижающего регулирования, а также для накопления энергии. Это обеспечивает и облегчает решение проблемы колебаний из-за высокой доли возобновляемой энергии, а также решение проблемы перегрузки сети и позволяет избежать необходимости модернизации сетевой инфраструктуры.
- Для правительства V2G создает новую экономику замкнутого цикла в обществе, обеспечивает более высокую энергетическую безопасность (поставки и качество), способствует созданию более экологичной окружающей среды и снижает шум от двигателей автомобилей. Электромобили и V2G изменяют образ жизни и инфраструктуру в городе, что приведет

к значительному изменению экономической деятельности.

- Для агрегатора/оператора электромобилей V2G представляет новую бизнес-возможность в электроэнергетическом секторе, включая услуги по балансированию сети (во взаимодействии с коммунальными службами, операторами сети и потребителями) и услуги по хранению возобновляемой энергии (например, хранение и минимизация сокращений и колебаний).
- Для владельцев офисов и недвижимости, а также коммерческих организаций (например, офисов, заводов) V2G может облегчить локальные пиковые нагрузки, выравнивание нагрузки и сбалансировать спрос на электроэнергию. Таким образом, общая стоимость электроэнергии может быть снижена.

Вспомогательные услуги, предоставляемые GEV, обычно называются услугами V2G, которые могут быть однонаправленными или двунаправленными по своей природе. Однонаправленные услуги V2G (uni-V2G) включают в себя поток управляемой однонаправленной мощности к электромобилям и предлагаются посредством активной зарядки электромобилей. Двунаправленные услуги V2G (bi-V2G) предполагают поток активной мощности в обоих направлениях при использовании энергии, хранящейся в резервных электромобилях. Существуют определенные преимущества uni-V2G по сравнению с bi-V2G, такие как меньшая деградация батареи, меньшая стоимость и первоначальные инвестиции, относительно более простое управление, минимальные социальные барьеры, а также отсутствие необходимости в двунаправленном зарядном устройстве, все связанные с ним коммуникации. Для раскрытия потенциала V2G электромобилей требуются более интеллектуальные методы зарядки для достижения различных целей на разных уровнях сети (рис. 1). Потенциальные услуги включают в себя виртуальную электростанцию (VPP), регулирование частоты и напряжения, вращающийся резерв, сглаживание пиков, выравнивание нагрузки, сокращение пиков и сокращение возобновляемой энергии,



**Рис. 1.** Потенциал V2G для разных уровней сети [1].

хранение возобновляемой энергии, смягчение последствий перегрузок и экономичные услуги, такие как снижение стоимости зарядки [1].

Пиковое сглаживание, помимо очевидной экономической выгоды, также приносит пользу оператору сети и конечному пользователю и способствует сокращению выбросов углерода. Когда спрос (нагрузка) увеличивается, увеличивается нагрузка на общую энергосистему. Это может привести к отключению в худших сценариях. Методы пикового сглаживания создают эффективный профиль нагрузки, что в конечном итоге улучшает качество электроэнергии при одновременном снижении затрат. Поскольку созданный профиль спроса нагрузки является устойчивым, общая нагрузка на систему передачи и распределения также снижается, что помогает повысить эффективность системы. Для конечных пользователей, участвующих в V2G, стимулы и финансовая компенсация с точки зрения снижения затрат на электроэнергию считаются решающими для поощрения их участия.

Ниже приведена сводная информация о потенциальных проблемах, с которыми приходится сталкиваться при внедрении и развитии V2G. Чтобы измерить осуществимость и улучшить социальное признание V2G, требуются дальнейшие массовые демонстрационные проекты, в которых тестируются не только технологические аспекты, но и другие аспекты (включая регулирование, социальную и рыночную реконструкцию).

Потенциальные проблемы, связанные с внедре-

нием V2G в различных измерениях:

#### 1. Технические.

- Деградация батареи (срок службы).
- Зарядная инфраструктура.
- Протоколы зарядки.
- Потери энергии при зарядке и разрядке.
- Риск дисбаланса, перегрузки и ограниченного энергетического буфера.
- Сетевое присоединение, ограниченное существующее проектирование сети.
- Интеграция с возобновляемыми источниками энергии.
- Сеть связи.
- Связь и безопасность данных.

#### 2. Регулятивные.

- Система налогообложения (система двойного налогообложения).
- Политика интеграции и стандарты зарядных устройств с распределительными и передающими линиями.
- Субсидии и стимулы на покупку электромобилей.
- Инфраструктурные субсидии.
- Независимый, открытый и доступный агрегатор.
- Отсутствие связи со всеми заинтересованными сторонами.
- Вопросы собственности (для зарядных устройств и других инструментов).

#### 3. Социальные.

- Недоверие к преимуществам V2G, технологиям V2G и отсутствие мотивации.
- Неудобства (зарядка, обслуживание и т.д.).
- Систематические путаницы (аппаратное

обеспечение, программное обеспечение и регулирование/политики).

- Беспокойство по поводу диапазона (низкий процент за покупку новых электромобилей).

#### 4. Экономические.

- Капитальные затраты системы взимания платы (потребности в инвестициях и субсидиях)
- Стоимость транспортного средства (первоначальные инвестиции пользователя)
- EV, особенно батареи, расходы на техническое обслуживание и замену
- Стоимость межсетевое подключения
- Стоимость связи

Крупномасштабная интеграция электромобилей в сеть значительно повлияет на напряжение сети [2]. Влияние интеграции электромобилей в сеть Великобритании было проанализировано при различных уровнях агрегации электромобилей и сценариях проникновения. При объединении 24 пользователей в низковольтном сегменте использовалась модель автоматизированного проектирования энергосистем (PSCAD/EMDTС), результаты моделирования которой показывают превышение предела низкого напряжения скидки на дорожные сборы, приоритетные полосы движения, являются одними из политических стимулов, которые будут способствовать принятию электромобилей населением.

#### **Управление спросом на электроэнергию через механизм двухстороннего использования электромобилей**

Распределенная генерация сделала шаг вперед к электрическим сетям, теперь классифицируемым как Smart Grid, и теперь позиционирует потребителя как активного субъекта в цепочке потребления энергии, поскольку он будет не только потреблять электроэнергию, но и сможет добавить его генерацию в систему. Новая энергетическая модель направлена на преобразование существующей системы в распределенную систему, в которой агент, подключенный к сети, имеет возможность предоставлять энергию, что позволяет создавать микрогенераторы, не зависящие от централизованной выработки

электроэнергии.

Таким образом, включение электромобиля в распределительные сети предполагает техническое и экономическое воздействие на электрическую систему. Предусматривается их массовая перезарядка, что повлияет на работу системы и возможное усиление, необходимое для существующей электрической инфраструктуры. Оценка влияния, которое зарядка электромобилей окажет на электроэнергетический сектор, будет зависеть от того, когда, где и как они будут заряжаться. В настоящее время существует три типа подзарядки в зависимости от места, где это делается. Кривая спроса не постоянна в течение дня, но она предсказуема, поэтому мы должны избегать зарядки электромобилей в часы пик, когда потребность в энергии больше, и способствовать подзарядке в непиковые часы или там, где потребляется меньше энергии.

С точки зрения энергоснабжения можно резюмировать, что возникает новый источник дохода, а сложность управления возрастает. На созданную здесь новую бизнес-модель тоже стоит обратить внимание. Новые возможности появляются на всех этапах аутентификации и настройки электричества для электромобилей и пользователей зарядки. Создание инфраструктуры зарядки повлечет за собой рост системы и бизнеса, который управляет и эксплуатирует эту инфраструктуру. Зарядное устройство можно установить на обочине или на стоянках обычных домов или многоквартирных домов, и его можно найти на рынках, в универмагах, различных спортивных сооружениях и парках, где собираются люди. Это может быть крупный блок потребления или небольшой блок, работающий только ночью. Нужна система управления и контроля такой сложной сетью.

Инфраструктура зарядки для электромобилей развивается, чтобы приспособиться к распространению электромобилей. Необходимо построить эффективную и интеллектуальную инфраструктуру зарядки электромобилей, которая сможет реагировать на спрос и предложение электроэнергии. Основные зарубежные страны

в индустрии электромобилей/гибридов продвигают политику снабжения зарядной инфраструктурой с учетом своих отраслей и условий окружающей среды в соответствии с расширением предложения электромобилей.

### **Потенциальный эффект к 2030 году с учетом для участников ОРЭМ**

Одним из ключевых показателей энергоэффективности электромобиля является потребление электроэнергии на километр пробега (кВт·ч/км). Этот показатель эффективности в сочетании с растущим количеством электромобилей на рынке окажет значительное влияние на энергосистему, чтобы удовлетворить дополнительную нагрузку от спроса на электромобили. В глобальном масштабе, согласно прогнозу BloombergNEF по электромобилям на 2022 год [6, с. 8], полностью обезуглероженная транспортная отрасль может увеличить потребление электроэнергии примерно на 8855 ТВт·ч к 2050 году, что на 21% больше, чем в базовом сценарии. Добавление такого спроса в сеть без разработки адекватных механизмов управления энергопотреблением может привести к перегрузке сети и снижению надежности и качества энергоснабжения.

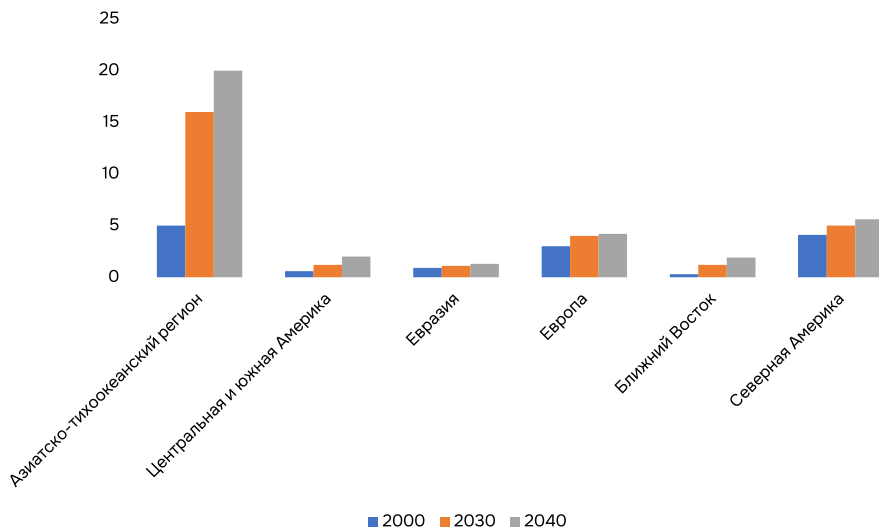
На сегодняшний день в нескольких исследованиях изучалось влияние увеличения числа электромобилей на электросети [5, с. 5]. Исследование, проведенное М. Г. Тягуновым и др., определило, как зарядные электромобили могут повлиять на спрос на электроэнергию в сети в Великобритании к 2030 году [4]. Исследование показывает, что по сравнению с базовым сценарием отсутствия электромобилей высокий спрос на электромобили удвоит спрос на электроэнергию из сети в вечерний пик спроса в течение года. Зимой ожидается пиковый спрос до 100 ГВт. Однако если обезуглероживание тепла в жилых домах будет осуществляться в соответствии с планом с использованием тепловых насосов, национальная сеть будет подвергаться дополнительной нагрузке, при этом пиковый спрос на тепло также будет совпадать с вечерним пиковым спросом на электроэнергию. Однако увеличение пиковой нагрузки является нежелательной ситуацией для энергосисте-

мы, поскольку требует относительно большого количества энергии за короткое время и может привести к дополнительным затратам из-за потери нагрузки и качества электроэнергии. Следовательно, для решения этой задачи может потребоваться гибкая сеть с большой и быстродействующей резервной мощностью.

П. П. Безруких исследовал влияние контролируемой и неконтролируемой зарядки аккумуляторов электромобилей на качество электроэнергии и потери в сети при различных уровнях потребления на рынке. Было установлено, что напряжение в сети может отклоняться более чем на максимально допустимую норму в 10%, а операторы распределительных сетей могут прибегать к повышению тарифов на электроэнергию для компенсации любых дополнительных потерь мощности [1].

Перспективное двойное использование электромобилей для перевозки и хранения электроэнергии для сети (V2G) делает электромобиль потенциальным источником дохода для владельца. Большинство исследований осуществимости V2G были проведены за последние два десятилетия и были сосредоточены, в частности, на энергетическом рынке для минимальной нагрузки и 50–100% для экстремальных условий проникновения. Исследование, проведенное В. В. Елистратовым и соавторами, дает обзор системы управления энергопотреблением для управления и контроля стабильности переходного напряжения через V2G [5]. Показано, что электромобили могут обеспечивать базовую нагрузку в течение короткого периода времени для повышения стабильности сети. Поскольку зарядное напряжение электромобилей, как правило, является самым низким в системе, а на зарядные нагрузки электромобилей в будущем будет приходиться большая часть электрических нагрузок, для электромобилей важно участвовать в сбросе нагрузки при пониженном напряжении, особенно в электромобилях переменного тока. Необходимы зарядные станции, чтобы избежать коллапса напряжения.

Поскольку технология электромобилей все еще



**Рис. 2.** Прогнозируемый мировой спрос на электроэнергию в период с 2000 по 2040 год, ТВт·ч (по данным МЭА) [6].

развивается, политика играет огромную роль в продвижении этой технологии к ее следующим шагам с точки зрения рыночной и социальной приемлемости. В странах, где электромобили все еще находятся на ранних стадиях принятия, стимулы, вспомогательная инфраструктура и электричество как для пропускной способности предложения, так и для балансировки возможностей, считаются фундаментальными проблемами, которые должны быть решены на начальном этапе. Фискальные стимулы, включая субсидирование и снижение налогов, а также дополнительные режимы, например, бесплатная парковка на дорогах.

При оценке потенциальной денежной выгоды от V2G Кемптон и Томик предположил, что использование электромобилей для транспортных нужд составляет всего около 4% дневного времени, тогда как оставшиеся 96% времени потенциально могут быть использованы для получения дохода за счет предоставления сетевых услуг.

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), согласно заявленным сценариям политики в 2022 г., ожидается, что спрос на электроэнергию увеличится до 37 000 ТВт·ч в 2040 г., что почти в 3 раза выше, чем в 2000 г. [6], как показано на рисунке 2.

Энергетическая проблема, представленная на рисунке 4, огромна, поскольку поддержание прогнозируемого роста потребления электроэнергии конкурирует с необходимостью декарбонизации энергетической системы в целом. ВИЭ, особенно ветровая и солнечная, внедряются в крупномасштабных схемах в качестве прямой замены электростанциям, работающим на ископаемом топливе, которые сформируют основу будущей инфраструктуры производства электроэнергии. В развитых странах генерирующие мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) быстро растут в течение последних нескольких лет.

Несмотря на то, что рынок перехода от транспортного средства к сети (V2G) быстро растет, высокая первоначальная стоимость и отсутствие инвестиций являются одними из основных проблем, с которыми сталкивается этот рынок. V2G не является дешевым источником по сравнению с производством электроэнергии на крупных электростанциях и требует огромных инвестиций, что является серьезной проблемой для роста этого рынка. Кроме того, первоначальная стоимость установки новой станции смены электромобилей очень высока, что также наносит ущерб росту этого рынка. Следовательно, эти проблемы могут помешать росту рынка Vehicle to Grid (V2G) в течение прогнозируемого



периода до 2030 года.

### Заключение

За последние годы индустрия электромобилей добилась значительного прогресса. Внедрение новых рамок политики для решения проблемы изменения климата и реализация существенных финансовых стимулов во многих развитых странах обеспечили необходимую уверенность в автомобильной промышленности для принятия радикальных решений, таких как прекращение производства бензиновых и дизельных двигателей и изменение долгосрочных стратегий для разработки технологии электромобилей для устойчивого массового рынка. В результате текущего перехода к полной электрификации

транспорта некоторые типы электромобилей, такие как BEV, PHEV, HEV и FCEV, разрабатываются, чтобы вселить уверенность в технологии. В настоящее время требуется значительный технический прогресс в разработке более легких и мощных аккумуляторов, интеллектуальных систем управления и производственных процессов для снижения затрат.

Поглощение электромобилей массовым рынком станет крупной глобальной реиндустриализацией в сочетании с переходом на производство электроэнергии из возобновляемых источников. Эти технологические и социальные преобразования принесут огромные выгоды, улучшив тем самым качество жизни и окружающую среду.

### Библиографический список

1. Безруких П. П. Прогноз развития возобновляемой энергетики мира на период до 2030 года // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2018. – 9(201). – С. 92–94.
2. Бутузов В. А., Безруких П. П., Елистратов В. В. Возобновляемая энергетика в России. С первых шагов до наших дней // Энергосбережение. – 2021. – № 4. – С. 62–72.
3. Бутузов В. А., Безруких П. П., Елистратов В. В. Российская возобновляемая энергетика // Энергия единой сети. – 2021. – 3(58). – С. 70–77.
4. Особенности управления объектами современной электроэнергетической системы / Б. В. Папков [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2021. – 7(122). – С. 26–37.
5. Тягунов М. Г., Шевердиев Р. П. Модели и методы исследования факторов, влияющих на режим работы гибридного энергокомплекса гарантированного энергоснабжения // Вестник МЭИ. – 2021. – № 5. – С. 58–68.
6. Electric Vehicle Outlook 2022 // BloombergNEF. – 2022. – URL: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook> (visited on 01/29/2024).
7. Global EV Outlook 2022 / International Energy Agency. – 2022. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022> (visited on 01/28/2024).
8. Kempton W., Tomić J. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue // Journal of power sources. – 2005. – Vol. 144, no. 1. – P. 268–279.