

УДК 621.355

В.И. Калашников /к.т.н./, А.А. Чепига

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИИ VEHICLE-TO-GRID

Проведен анализ концепции vehicle-to-grid. Рассмотрена возможность применения технологии в современной энергосистеме. В результате изучения работ различных исследователей выявлены преимущества и недостатки, которые позволили определить эффективность аккумуляторов электромобилей как накопителей электроэнергии.

Ключевые слова: *vehicle-to-grid, аккумуляторы, электромобили, накопители электроэнергии.*

Постановка проблемы

Проблема развития альтернативной энергетики, которая основана на использовании энергии ветра, солнца и топливных элементов, во всем мире вызывает огромный интерес, и ученые стараются найти новые технологии, новые устройства, которые могли бы аккумулировать энергию, хранить ее и использовать при необходимости [1]. Одним из главных препятствий при создании накопителей электроэнергии является задача балансировки подачи в сеть энергии, которая получена от возобновляемых источников, в соответствии с потребностями потребителей. Одним из вариантов решения этой проблемы является концепция vehicle-to-grid (V2G), которая напрямую принимает участие в управлении спросом на электроэнергию и помогает избавиться от данной сложности.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблема накопления «зеленой» энергии является весьма актуальной в условиях ухудшения экологической составляющей планеты. В этой связи создание и внедрение новых технологий стабилизации электрической сети представляет собой важную задачу для исследователей. При проведении исследований были использованы разработки зарубежных и отечественных теоретиков и практиков. Так, анализ различных зарядных устройств, а также мест их установки, позволяющий выбрать эффективное решение для концепции, был изложен Х. Гобаром [2], З. Саламехом [3], а также К. Чау [4].

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является анализ концепции двухстороннего использования электромобилей, подразумевающей подключение машины в общую электрическую сеть для подзарядки автомобиля с возможностью выдачи электроэнергии обратно в сеть для участия в управ-

лении спросом на электроэнергию, а также выявление преимуществ и недостатков данной технологии.

Основной материал исследования

Для приведения в движение электромобилей (ЭМ) используются как синхронные, так и асинхронные двигатели [5]. Электромобиль заряжается от источника электроэнергии, который находится вне транспортного средства, он может быть автономным – от солнечной батареи или водородного генератора, преобразующего топливо в электричество. Будущее транспорта – более эффективные системы электропривода. При рассмотрении большого количества современных электромобилей, а также мощности их систем хранения энергии были предложены дополнительные преимущества их применения как накопителей энергии. Однако есть много вопросов: какое дополнительное оборудование и программное обеспечение потребуется для доставки накопленной энергии; какие коммуникационные системы нужны; можно ли это сделать, не затрагивая потребности водителя; каково будет влияние на срок службы батареи; какие мотивы существуют для достижения этого и кто выиграет от этой идеи.

Технология V2G подразумевает возможность организации контролируемого и двунаправленного потока электрической энергии между транспортным средством и электрической сетью. Электрическая энергия поступает от сети к автомобилю, для того чтобы зарядить батарею. Электрическая энергия отдается от транспортного средства в сеть, когда электроэнергетической компании необходима энергия, например, для обеспечения пиковой мощности. Исследования показывают, что транспортные средства не используются для активных перевозок более 90 % времени [6]. Поэтому в это время батареи ЭМ могут использоваться для обслуживания рынков электроэнергии без ущерба для их основной транспортной функ-

ции. Технология V2G включает в себя концепции vehicle-to-home (когда электромобиль находится дома) или vehicle-to-building (когда электромобиль находится в коммерческом здании). В этих случаях батарея может использоваться для питания электрической нагрузки.

Электрическая энергия, которая хранится внутри батареи электромобилей, может быть использована для ограничения максимума нагрузки и повышения качества электрической энергии. Ограничения максимума нагрузки – это ограничение нагрузки в пиковое время. В концепции smart grid электромобиль может стать важной частью сети и действовать как распределенный источник электроэнергии. ЭМ обеспечит хранение и поддержит стабильность сети путем отдачи необходимого количества мощности с меньшим загрязнением окружающей среды. Прежде чем интегрировать ЭМ в сеть, чтобы передать мощность обратно в энергосистему, необходимо выполнить несколько условий:

– по стандарту IEEE 519 общее искажение гармоник должно быть ниже 5 %, поскольку оно напрямую связано с загрязнением сети;

- коэффициент мощности должен быть близок к единице;
- транспортное средство должно иметь достаточное количество заряда, зарезервированного в аккумуляторе.

Для зарядки или разрядки энергии задействуются три системных компонента: место, где ЭМ соединяется с электрической сетью; оборудование питания ЭМ, к которому подключается транспортное средство; аккумулятор для ЭМ с системой контроля заряда. Место, где ЭМ соединяется с электрической сетью, может быть домом владельца, парковкой или общественной зарядной станцией. ЭМ могут питаться от источников постоянного и переменного тока на различных уровнях мощности. Каждый ЭМ может иметь несколько компонентов для управления и регулирования скорости зарядки аккумулятора. Все эти компоненты играют определенную роль в определении режимов работы и функциональности.

Общество автомобильных инженеров установило уровни зарядки переменного и постоянного тока, как показано в табл. 1 и рис. 1 [7].

Табл. 1. Уровни мощности зарядных устройств

Зарядное устройство переменного тока	Зарядное устройство постоянного тока
Mode 1: 240 В, однофазное, максимум 16 А, максимум 3,8 кВт	Mode 1: 200...450 В, максимум 80 А, максимум 19,2 кВт
Mode 2: 240 В, однофазное, максимум 32 А, максимум 19,2 кВт	Mode 2: 200...450 В, максимум 200 А, максимум 90 кВт
Mode 3: подлежит определению, может быть трехфазным	Mode 4: подлежит определению, может охватывать 200...600 В, максимум 400 А, максимум 240 кВт

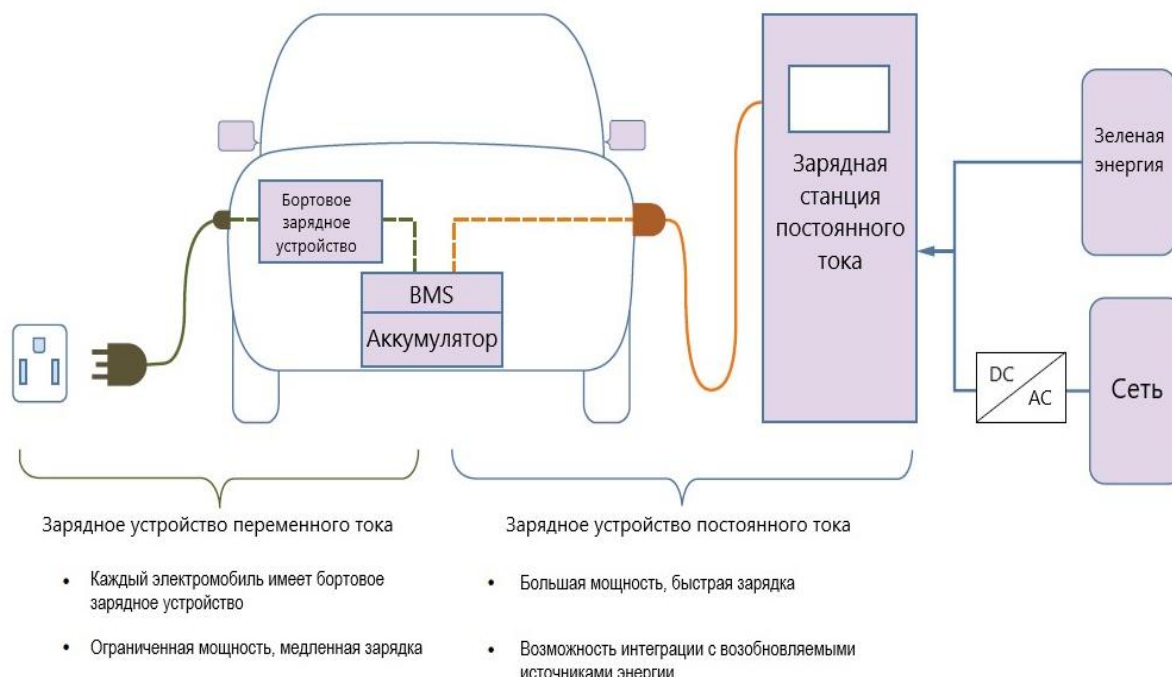


Рис. 1. Базовая структура зарядных устройств

Питание из сети подается в виде переменного тока в помещения, где установлено оборудование питания ЭМ. Аккумуляторы ЭМ хранят постоянный ток. Таким образом, для завершения зарядки требуется преобразование переменного тока в постоянный. И, наоборот, при работе в режиме V2G постоянный ток в батарее ЭМ необходимо преобразовать в переменный, для того, чтобы вернуть его в сеть.

Владельцы ЭМ смогут заряжать свои транспортные средства в четырех местах: по месту жительства или на основной ночной парковке; по месту работы; в автопарке; на коммерческих станциях.

При наличии необходимой инфраструктуры владельцы ЭМ будут подзаряжать аккумуляторы по месту жительства. Однако ЭМ придется парковать на долгое время. Необходимо учитывать, что тарифы на коммунальные услуги являются низкими в нерабочие вечерние часы, ранние утренние часы и в выходные дни. Поэтому владельцам ЭМ рекомендуется заряжать свои автомобили в это время.

Ожидается, что большая часть зарядки жилых помещений будет осуществляться через зарядку Mode 2 переменного тока, поскольку она имеет более короткое время зарядки по сравнению с Mode 1 переменного тока. Производители оборудования для зарядки переменного тока Mode 2 обеспечат различные функции (т. е. базовую зарядку, коммуникационный модуль, измеритель дохода и многофункциональный сенсорный экран). Следовательно, на основе предоставленных функций некоторые версии этого оборудования могут быть в пределах финансовой досягаемости владельцев ЭМ. Хотя зарядка переменного тока Mode 1 требует более длительного времени, некоторым владельцам ЭМ может быть достаточно восстановить емкость аккумулятора за ночь, однако Mode 1 (при наличии) вызывает перегрузку для жилых сервисных панелей, а Mode 2 постоянного тока непрактичен для дома из-за значительных затрат, необходимых для обновления коммунальной сети.

Идут споры о важности взимания платы на рабочем месте в учреждениях работодателя. Преимущества для работодателей или коммерческих хостов в плане взимания платы заключаются в предоставлении услуг своим клиентам и потенциальном доходе от рекламы. Однако работодатели могут сталкиваться с такими трудностями, как налоги, стоимость оборудования и инфраструктуры для зарядки ЭМ и управление имеющимися зарядными станциями. Кроме того, коммерческие хосты могут испытывать трудности, такие как дополнительная нагрузка на их

объект, соответствующие расходы по требованию от их поставщика энергии и потеря общих парковочных мест.

ЭМ, прибывающие на работу, будут полностью заряжены до часов пикового спроса в этом районе. Затем эти ЭМ как агрегированное хранилище могут предложить более дешевое решение для удовлетворения требований пикового спроса. Также их можно использовать для энергообеспечения здания (vehicle-to-building, V2B) или поставить резервную мощность для критических бизнес-операций. Некоторые батареи ЭМ могут быть разряжены во время пика и могут не успеть зарядиться для домашней сети. Поэтому каждый владелец ЭМ должен будет определить минимальный уровень заряда аккумулятора для своего ЭМ, который будет использоваться для поездки после работы. В V2B владелец здания получает выгоду от снижения стоимости энергии, а владельцы ЭМ получают платежи от объекта за использование батареи.

Парк транспортных средств – это группы транспортных средств, принадлежащих или арендованных предприятием, государственным учреждением или другой организацией, а не отдельным лицом или семьей. Примерами являются транспортные средства, эксплуатируемые компаниями по прокату автомобилей, компаниями такси, коммунальными службами, общественными автобусными компаниями. Зарядка автопарка происходит в рабочей среде для ЭМ, принадлежащих компании. Эти ЭМ будут доступны для услуг V2G в нерабочее время. Некоторые типы автопарков могут иметь большие преимущества в области V2G, чем другие. Например, парк школьных автобусов с электроприводом может обеспечить значительную доступность накопленной энергии, которая накопится в нерабочее время. Поскольку эти автобусы имеют большие блоки батарей, эксплуатируются на известных маршрутах в будний день, а затем припаркованы на ночь и в выходные дни, потенциал V2G велик.

В настоящее время в коммерческом секторе наблюдается толчок в установке зарядных станций. Тип предприятий, которые будут устанавливать зарядные станции, будет варьироваться, а версия установленного оборудования ЭМ будет отличаться. Станции зарядки Mode 3 могут быть установлены в местах, где владельцы ЭМ будут оставаться достаточно времени, чтобы позволить аккумуляторам зарядиться. Эти места могут включать рестораны, театры, торговые центры, больницы, адвокатские конторы и стоматологические кабинеты. Зарядка постоянного тока Mode 4 может использоваться в таких местах,

как рестораны, кафе, магазины и бензоколонки, поскольку клиенты получают значительный заряд за считанные минуты. Также быстрые зарядные устройства постоянного тока можно использовать на магистралях между большими городами.

Есть много вопросов реализации, которые должны быть решены, прежде чем системы V2G могут быть широко приняты. Примерами являются бизнес-процессы, публичная политика и стандартные домены.

Участниками в ускорении процесса интеграции ЭМ в энергосистему являются:

Электроэнергетические компании: они имеют некоторые барьеры по внедрению V2G. В качестве новой технологии барьерами V2G являются требования к совместимости, развивающиеся стандарты, влияние на срок службы батареи ЭМ и требования к задержке компьютерной сети. Нетехнологическими барьерами являются отсутствие инвестиционного капитала, ответственность и подотчетность за надежность сетей и отсутствие определенности в рыночных ценах.

Производители транспортных средств: крупные инвестиции были сделаны в исследования, разработки и производство ЭМ. Однако V2G вызывает неопределенность, связанную со временем автономной работы и емкостью аккумуляторов. Таким образом, демонстрационные испытания и экономический анализ необходимы для доказательства концепции и определения того, имеет ли она смысл для производителей и поставщиков батарей. Производители ЭМ не желают разрешать разряд энергии от батарей с помощью какого-либо контроля, кроме системы управления ЭМ. Это связано с тем, что открытие ЭМ для внешних интерфейсов управления, таких как сигналы цен или регулирования от коммунальных служб или накопителей, может вызвать

дополнительный риск. Производители ЭМ столкнутся с трудностями, поскольку они не могут знать до доставки автомобиля, захочет ли владелец участвовать в операциях V2G или нет. Таким образом, им нужно будет либо предоставить всем автомобилям возможности длительного обслуживания автомобиля с операциями V2G, либо базовые гарантии по другим показателям, таким как количество циклов батареи.

Владельцы ЭМ: они будут мотивированы преимуществами, сбалансированными с рисками. Преимущества включают в себя денежные, экологические и сетевые положительные факторы, которые должны быть взвешены с учетом влияния срока службы батареи, наличия транспортного средства и простоты использования. Владельцы ЭМ должны знать, как часто и сколько им будут платить.

Правительство: из-за неопределенности нового рынка электротранспорта необходима четкая политика директив, стандартов и поддержки рынка.

Если батареи ЭМ напрямую подключить к шине постоянного тока, то ток заряда и разряда необходимо будет контролировать. Поэтому между шиной постоянного тока и аккумулятором необходимо ставить двунаправленный преобразователь для регулирования тока заряда и разряда [8]. Пример топологии для системы V2G показан на рис. 2.

Двунаправленное зарядное устройство является интерфейсом между сетью и электромобилем; оно имеет две ступени: сетевой инвертор и повышающий или понижающий преобразователь постоянного тока. Это двунаправленное зарядное устройство может выполнять две основные функции: режим зарядного устройства и V2G (рис. 3) [9].

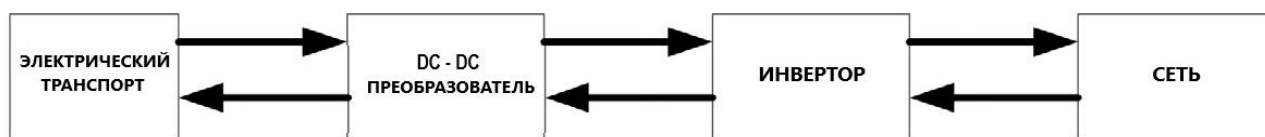


Рис. 2. Блок-схема технологии V2G

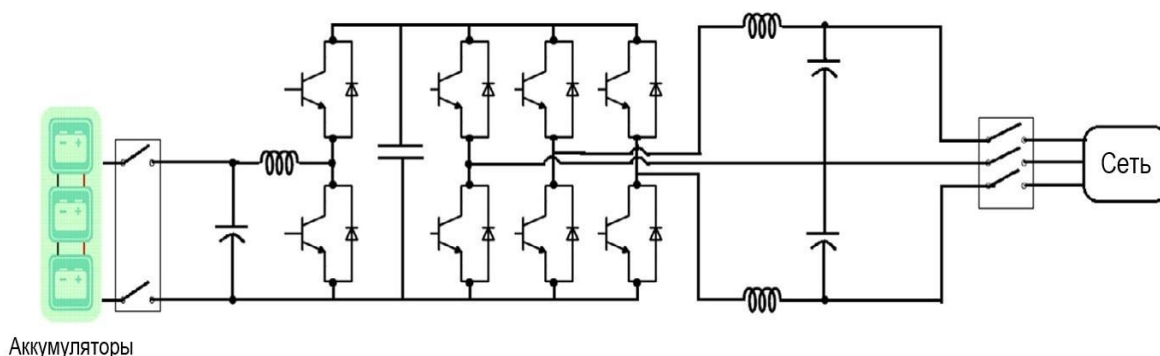


Рис. 3. Топология двунаправленного зарядного устройства

Выводы

В результате исследования для концепции vehicle-to-grid были выделены следующие преимущества:

– выравнивание пиковой нагрузки: V2G помогает обеспечить питание сети, когда спрос высок, и заряжает батареи ЭМ ночью, когда спрос низкий;

– финансовые: владельцы ЭМ могут получить финансовую выгоду от V2G;

– для хранения возобновляемой энергии: ЭМ может помочь развитию возобновляемых источников энергии. ЭМ может хранить избыточную энергию в ветреные или солнечные периоды. Позже ЭМ может вернуть энергию назад в сеть, когда потребность высока. Таким образом, ЭМ может стабилизировать и сгладить прерывистость возобновляемой энергии;

– поддержка во время отключения электроэнергии: V2G, как ожидается, будет иметь жизненно важную роль во время отключения электроэнергии.

Однако стоит отметить, что данная концепция имеет следующие недостатки:

– капитальные и энергетические затраты на силовую электронику: для подключения ЭМ к электросети требуется двунаправленный интерфейс;

– время работы от батарей: батареи ЭМ имеют жизнь 1000 циклов. Частая зарядка и разрядка сократят время работы батарей. Следовательно, каждый владелец ЭМ должен продавать накопленную энергию обратно в сеть, когда спрос достаточно высок, чтобы вернуть стоимость;

– сложность моделирования: концепция V2G по-прежнему является текущим исследованием, поскольку большинство проектов и схем управления, предложенных учеными, слишком сложны для реализации. Еще больше исследований требуется для снижения сложности и стоимости совместимости V2G на ЭМ;

– рынок: он используется для покупки электроэнергии у владельцев ЭМ. Необходимо быть уверенным, что коммунальные службы собираются получить эти объемы энергии, ведь вся мощность от ЭМ будет передаваться в электроэнергетические компании.

Ученые должны провести достаточное количество тестирований и оценку для получения

вспомогательных данных, которые позволили бы свести к минимуму риски и избавиться от барьеров при принятии V2G. Это является одним из основных препятствий для принятия решений регулирующими органами.

Список литературы

1. Каримов, Д.Р. Проблема хранения энергии в промышленных масштабах за рубежом и в России // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. VIII междунар. студ. науч.-практ. конф. 07.02.2013, г. Новосибирск. – №8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sibac.info/archive/technic/8.pdf>
2. Gabbar, H. Smart Energy Grid Engineering / H. Gabbar // IEEE Trans Ind Appl – British Columbia, Canada: Academic Press, 2016. – 568 p.
3. Salameh, Z. Economics of Vehicle to Grid (V2G) Technology / Z. Salameh, Z. Tenglong // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). – 2014. – Iss.4. Vol.3. – P. 67.
4. Chau, K.T. Electric Vehicle Machines and Drives – Design, Analysis and Application. – Wiley-IEEE Press, 2015. – 375 p.
5. Анучин, А.С. Разработка цифровых систем эффективного управления комплектов тягового электрооборудования гибридных электрических транспортных средств: дис... канд. техн. наук: 05.09.03 / Анучин Алексей Сергеевич. – Москва, 2018. – 445 с.
6. University of Delaware. Electric & hybrid cars [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.udel.edu/V2G/docs/LetendDenLil-LoadOrResource06.pdf>
7. Society of Automotive Engineers (SAE), J1772: Electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standards.sae.org/j1772_201001
8. Jin, K. Three-level bidirectional converter for fuel-cell/battery hybrid power system / K. Jin [et al.] // IEEE Trans Ind Electron. – 2010. – No.57(6):1976. – P. 86.
9. Ansean, D. Evaluation of life PO4 batteries for electric vehicle applications / D.Ansean [et al.] // IEEE Trans Ind Appl. – 2015. – No.51(2):1855. – P. 63.

V.I. Kalashnikov /Cand. Sci. (Eng.)/, A.A. Chepiga
Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE ANALYSIS OF VEHICLE-TO-GRID CONCEPT

Background. One of the main obstacles in creating of accumulating systems is the problem of balanc-

ing of the supplying power to the network, achieved due to renewable sources according to consumer's needs. One of the options to solve this problem is the concept called "vehicle-to-grid" (V2G) which is taking part directly in handling the electrical energy demand and helping to get rid of this issue.

Materials and/or methods. The problem of accumulating "green" energy is highly relevant in the context of the deterioration of the environmental aspect of the world. The certain developments of international and national theorists and practitioners were used during research.

Results. As a result of vehicle-to-grid concept research, the following advantages highlighted.

- Levelling of the peak workload.
- Economic: the EV owners can receive a financial reward from V2G.
- EV can help to develop renewable sources of energy in order to make it possible to save the renewable energy.
- During the power cuts, the V2G support is expected to play a life-saving role.

However, certain disadvantages of this concept are noteworthy:

- Financial and energetic costs of electronics.
- The time of battery work: EV batteries have 1000 cycles charge. Pure recharge and discharge may reduce battery work.
- The complexity of modelling: V2G concept is still under research because most projects and management schemes which are offered by scientists are quite complex to be realized.
- Buying electricity from EV owners at the market.

Conclusion. Sufficient testing and evaluation required by the industry and academia to provide supporting data that would minimize risks and mitigate the barriers in the adoption of the V2G.

Keywords: vehicle-to-grid, batteries, electric vehicles, energy storage.

Сведения об авторах

В.И. Калашников

SPIN-код: 8002-9286
 Author ID: 855701
 ORCID iD: 0000-0001-5116-1486
 Телефон: +380 (62) 304-71-31
 +380 (71) 334-92-91
 Эл. почта: viktor_kalashnikov@donntu.org

А.А. Чепига

Телефон: +380 (71) 395-11-40
 Эл. почта: andreychepiga@yandex.ua

Статья поступила 24.05.2019 г.
 © В.И. Калашников, А.А. Чепига, 2019
 Рецензент д.т.н., доц. И.А. Бершадский

