



АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ МОБИЛЬНЫХ ЗАРЯДНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Сафин А.Р., Басенко В.Р., Низамиев М.Ф., Цветков А.Н., Петров Т.И.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

vasiliybas123@mail.ru

Резюме: *АКТУАЛЬНОСТЬ.* Отсутствие легкодоступных зарядных станций становится негативным фактором роста внедрения электромобилей. Следовательно, планирование и размещение зарядных станций набирает обороты среди исследователей во всем мире. Одним из перспективных решений является использование мобильных зарядных станций, которые могут решить проблему стационарности существующих решений. **ЦЕЛЬ.** Для подтверждения актуальности исследования и определения современного технического уровня в области зарядных станций для электротранспорта (для сравнения с разрабатываемой технологией на базе Казанского государственного энергетического университета и производственного объединения «Зарница»), произведен анализ патентной информации. **МЕТОДЫ.** Авторами статьи были определены термины и ключевые слова для анализа, проведен сбор данных на специализированных сайтах и был проведен подробный анализ ряда патентов разных стран, исследовательских организаций. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Максимальный уровень разработок находится на уровне TRL 3-5, но анализ патентной активности говорит о росте числа объектов интеллектуальной собственности, что может говорить о будущем резком увеличении уровня TRL, и необходимости собственных разработок готовых для серийного производства, для чего авторами разработана блок-схема разрабатываемой мобильной установки заряда электротранспорта, с указанием особенностей: возможность выдавать мощность в сеть, беспроводная зарядка для электротранспорта, наличие всех основных типов зарядок для электромобилей, возможность интеграции возобновляемых источников энергии, динамическое распределение энергии. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Технический уровень разработок в области мобильных зарядных установок для электротранспорта не позволяет говорить о готовых решениях, которые можно использовать для развития зарядной инфраструктуры РФ, и разработка отечественного решения в виде серийного производства необходима.

Ключевые слова: электротранспорт; мобильная зарядная установка; уровень технической готовности; зарядное устройство; зарядная инфраструктура.

Благодарности: 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., Басенко В.Р., Низамиев М.Ф., Цветков А.Н., Петров Т.И. Анализ технического уровня разработок в области мобильных зарядных установок для электротранспорта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т.25. № 3. С. 55-64. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-55-64.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL LEVEL OF DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF MOBILE CHARGING INSTALLATIONS FOR ELECTRIC TRANSPORT

AR. Safin, VR. Basenko, MF. Nizamiev, AN. Tsvetkov, TI. Petrov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

vasiliybas123@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE.* The lack of easily accessible charging stations is becoming a negative factor in the growth of the adoption of electric vehicles. Consequently, the planning and placement of charging stations is gaining momentum among researchers around the world. One

of the promising solutions is the use of mobile charging stations, which can solve the problem of the stationarity of existing solutions. **TARGET.** To confirm the relevance of the study and determine the current technical level in the field of charging stations for electric vehicles (for comparison with the technology being developed on the basis of Kazan State Power Engineering University and the Zarnitsa production association), an analysis of patent information was made. **METHODS.** The authors of the article defined terms and keywords for analysis, collected data on specialized sites and carried out a detailed analysis of a number of patents from different countries, research organizations. **RESULTS.** The maximum level of development is at the level of TRL 3-5, but the analysis of patent activity indicates an increase in the number of intellectual property objects, which may indicate a future sharp increase in the level of TRL, and the need for their own developments ready for mass production, for which the authors developed a flowchart of the developed mobile electric vehicle charging installation, indicating the features: the ability to supply power to the network, wireless charging for electric vehicles, the availability of all major types of charging for electric vehicles, the possibility of integrating renewable energy sources, dynamic energy distribution. **CONCLUSION.** The technical level of developments in the field of mobile charging stations for electric vehicles does not allow talking about ready-made solutions that can be used to develop the charging infrastructure of the Russian Federation, and the development of a domestic solution in the form of mass production is necessary.

Keywords: electric transport; mobile charger, level of technical readiness; Charger; charging infrastructure.

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, Basenko VR, Nizamiev MF, Tsvetkov AN, Petrov TI. Analysis of the technical level of developments in the field of mobile charging installations for electric transport Study of adaptive control system of asynchronous electric drive belt conveyor. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2023;25(3): 55-64. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-55-64.

Введение

Сегодня на дорогах все больше электромобилей, которые нуждаются в постоянной подзарядке. Ожидается, что в будущем произойдет дальнейшее значительное увеличение количества электромобилей на дорогах, в воздухе и на воде, т.е. электромобилей, грузовиков, самолетов и лодок. Таким образом, наблюдается тенденция к обезуглероживанию всех видов транспорта [1].

Переход на электромобильный транспорт обязательно требует инфраструктуры зарядных станций. Станции для зарядки электромобилей необходимы для обеспечения дешевой и чистой электроэнергией, производимой сетью и возобновляемыми источниками энергии, что ускоряет внедрение электромобилей [2,3]. Создание новых сетей зарядных станций позволит решить проблемы владельцев электромобилей, и это позволит им конкурировать с двигателями внутреннего сгорания с точки зрения производительности [4]. Для владельцев электромобилей важно наличие всей необходимой инфраструктуры, которая гарантирует успешное завершение поездки без задержек зарядки или с минимальными временными задержками. Поэтому инвесторы ждут, когда на дорогах появится достаточное количество электромобилей, чтобы сделать бизнес по инфраструктуре зарядки прибыльным. Политика правительства также играет важную роль в решении этих проблем [5]. Отсутствие недорогих аккумуляторов, которые могут хранить достаточно энергии в течение более длительного периода времени для увеличения запаса хода электромобилей, является еще одним важным фактором, влияющим на внедрение электромобилей [6,7]. Кроме того, в последние годы важными темами исследований стали оптимальное расположение зарядных станций и влияние электромобилей на систему распределения электроэнергии [8].

Мобильные зарядные станции были описаны в обзорном документе [9], в котором различные стратегии зарядки подразделяются на три основные категории: мобильная зарядка (включая подкатегории: портативная зарядная станция, мобильные зарядные станции для грузовиков и передача энергии от транспортного средства к транспортному

средству (V2V), стационарная зарядка (частные и общественные зарядные станции) и бесконтактная зарядка (замена батареи и беспроводная дорожная зарядка).

Однако в России есть проблема с развитием зарядной инфраструктуры, и решением может стать создание мобильных устройств для зарядки электромобилей [10-13].

В рамках работы проведен патентный поиск для выявления направлений развития устройств в области зарядки электромобилей, и на базе анализа полученной информации доработана блок-схема МУЗЭ, что является новым теоретическим решением. Практическая значимость заключается в создании патентной базы, подтверждающей необходимость в создании отечественного МУЗЭ.

Материалы и методы. Оценка уровней готовности технологий TRL

По результатам патентного поиска были выявлены различные разработчики и технические решения, имеющие назначение, соответствующее регламенту патентного поиска. Особое внимание обращалось на решения, что осуществляют правовую охрану изобретений и полезных моделей, связанных с усовершенствованием зарядной инфраструктуры для электротранспорта и имеющие высокий технический уровень представленного продукта.

Оценка найденных технических решений производилась на базе шкалы уровней готовности технологий NASA – с помощью калькулятора TRL для оценки степени готовности технологий и технических решений. Калькулятор TRL имеет следующую классификацию:

TRL 1 – Утверждение и публикация базовых принципов технологии.

TRL 2 – Формулировка концепции технологии и оценка области применения.

TRL 3 – Начало исследований и разработок. Подтверждение характеристик.

TRL 4 – Проверка основных технологических компонентов в лабораторных условиях.

TRL 5 – Проверка основных технологических компонентов в реальных условиях.

TRL 6 – Испытания модели или прототипа в реальных условиях.

TRL 7 – Демонстрация прототипа (опытного образца) в условиях эксплуатации.

TRL 8 – Окончание разработки и испытание системы в условиях эксплуатации.

TRL 9 – Демонстрация технологии в окончательном виде при летных испытаниях образца.

Анализ разработок в области зарядной инфраструктуры для электротранспорта

Для устройств и решений в области зарядной станции электротранспорта выявлены два патента от разработчиков, а именно: национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», ООО «Ева».

Национальным исследовательским центром «Курчатовский институт» предложена зарядная станция электрического транспорта, содержащая по меньшей мере три зарядных блока, каждый из которых соединен с отдельным модулем накопления энергии, которые последовательно соединены через контроллер заряда и распределения электроэнергии, соединенный через средство контроля и учета электроэнергии с внешней электросетью, с отдельными модулями генерации, выполненными соответственно на солнечных батареях, на по меньшей мере одном ветрогенераторе, на водородных топливных элементах и модуле на привозных топливных элементах, контроллер заряда и распределения соединен с электролизером, который отдельными трубопроводами соединен с резервуаром с водой, и через резервуар с водородом с модулем генерации на водородных топливных элементах, соединенным трубопроводом с резервуаром с водой, модуль генерации на привозном топливе через трубопровод соединен с топливным резервуаром.

ООО «Ева» разработали электрочарядную станцию, включающая в себя корпус, а также установленные внутри него программируемый логический контроллер, а также устройство управления процессом заряда электромобиля, устройство защитного отключения с приводом дистанционного автозвода, датчик угла наклона, модуль связи, внутренний датчик температуры воздуха, датчик относительной влажности воздуха, датчик горючих газов, герконовый датчик, реле напряжения, трансформатор тока и напряжения, модуль измерения параметров электрической сети, реле контроля сопротивления изоляции цепей переменного тока, реле контроля электрических величин и устройство защиты от импульсных перенапряжений и помех, соединенные с контроллером, при этом снаружи корпуса расположен зарядный разъем, бесконтактный терминал оплаты, модуль внешней индикации и внешний датчик температуры воздуха, соединенные с контроллером. Техническим результатом является повышение эффективности предупреждения аварийных ситуаций на электрочарядных станциях.

Данные разработки имеют уровень технической готовности TRL 3, так как не имеют подтвержденных лабораторных испытаний о своих технических характеристиках.

Для устройств и решений в области накопителей выявлены патенты от следующих разработчиков: ООО «Малая и распределенная энергетика – инновационные решения», ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет».

ООО «Малая и распределенная энергетика – инновационные решения», представила устройство аккумулирующих источников вторичного электропитания для электроприводов, использующих рекуперацию, а также компенсаторов пусковых токов. Предложена конструкция модуля управления аккумулирующим устройством на базе сборки последовательно соединенных СК и последовательно соединенных АКБ, включающая устройство общего управления, выполненное на микроконтроллере. Предложенное устройство обеспечивает:

- возможность изменения параметров модуля с помощью управляющего устройства на базе микроконтроллера,
- активную дифференциальную балансировку СК и АКБ в сборке с помощью устройства сравнения напряжения на каждой ячейке СК и АКБ с эталонным, и при достижении такого напряжения отключение этой ячейки с помощью коммутирующего устройства.

Реализация полезной модели позволяет повысить энергоэффективность и безопасность накопителей энергии на СК и АКБ и существенно сэкономить циклический ресурс АКБ в системах, применяющих рекуперацию.

Омский государственный университет путей сообщения представляет систему тягового электроснабжения, которая содержит гибридный накопитель электроэнергии на посту секционирования. Предлагаемое устройство позволяет сократить потери электроэнергии в преобразователе и реализовать управление модулями накопителей электроэнергии различного вида при совместной работе в режимах заряда и разряда.

Московский политехнический университет создал гибридный накопитель энергии (ГНЭ) для зарядных станций электротранспорта содержит отсек аккумуляторных батарей, отсек суперконденсаторов и силовой электроники. Отсек аккумуляторных батарей и отсек суперконденсаторов и силовой электроники являются частями одного корпуса. Отсек аккумуляторных батарей и отсек суперконденсаторов и силовой электроники содержат вентиляторы охлаждения. Отсек суперконденсаторов и силовой электроники содержит контур жидкостного охлаждения, подводы для подключения контуров жидкостного охлаждения к охлаждающим плитам. Вентиляторы охлаждения закреплены на корпусе гибридного накопителя энергии, как и контуры жидкостного охлаждения. Технический результат заключается в достижении безотказности ГНЭ за счет охлаждения модуля АКБ и модуля СК, входящими в конструкцию ГНЭ.

Представленные решения находятся на 5 уровне готовности по классификации TRL, так как данные накопители электроэнергии уже имели реальную апробацию своих компонентов, но при этом до сих пор не применяются в совокупности.

Устройства и решения в области заряда электротранспорта представлены от следующих разработчиков: ООО «Энергия», Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

ООО «ЭНЕРГИЯ» представляет зарядное устройство для аккумуляторной батареи. Полезная модель относится к области электротехники, в частности к зарядным устройствам на основе тиристорных регулируемых выпрямителей, используемых для зарядки аккумуляторных батарей. Технический результат заключается в обеспечении гибкости регулирования напряжения и тока в широком диапазоне для зарядки аккумуляторных батарей широкой номенклатуры.

Достигается тем, что зарядное устройство для аккумуляторной батареи, содержащее, по меньшей мере, один регулируемый тиристорный регулятор-выпрямитель напряжения постоянного тока с импульсно-фазовым регулятором, датчики напряжения и тока, один повышающий трансформатор, по меньшей мере, один регулятор напряжения переменного тока, отличается от прототипа тем, что повышающий трансформатор установлен перед регулятором напряжения переменного тока, который представляет собой магнитный усилитель и выход которого, в свою очередь, связан со входом тиристорного регулятора-выпрямителя, при этом управление обмоткой подмагничивания магнитного усилителя осуществляется контроллером, который выполнен также с возможностью управления тиристорным регулятором-выпрямителем напряжения постоянного тока с использованием импульсно-фазового регулятора, выполненного на дискретных элементах с использованием

обратной связи по выходному напряжению и току, измеряемому после фильтра низкочастотных помех.

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ предлагает систему управления зарядом аккумуляторных батарей для электротранспорта от стандартного сетевого напряжения. Система управления зарядом аккумуляторных батарей для электротранспорта от стандартного сетевого напряжения для электротранспорта от стандартного сетевого напряжения снабжена аккумуляторами, резисторами, транзисторами, диодами, диодными лампами, стабилитронами, конденсаторами, кнопками, контактами, магнитным пускателем, плавкой вставкой, предохранителями, контактором, соединенными последовательно между собой и разделенными на десять зарядных групп.

Новосибирский государственный технический университет разработал бесконтактное зарядное устройство для электромобиля. Полезная модель относится к зарядной системе и может быть использована для заряда аккумуляторной батареи электромобилей.

Бесконтактное зарядное устройство для электромобилей, содержащее подвижную платформу и излучающую катушку, при этом подвижная платформа имеет шарнирно-сочлененную связь, а излучающая катушка, покрытая экранированным слоем, размещена в раме, рама с излучающей катушкой механически жестко закреплены с подвижной платформой, датчик движения установлен на раме в одной плоскости с излучающей катушкой.

Техническим результатом предлагаемой полезной модели является увеличение КПД за счет сокращения расстояния между излучающей и принимающей катушками. Также данное устройство позволит сократить время заряда транспортного средства.

Решения от данных разработчиков имеют уровень технической готовности TRL 4, потому что они находятся на стадии апробации лабораторных разработок для испытаний способов заряда электромобилей.

Диаграмма уровня готовности (рис. 1), полученной авторами в ходе проведенного анализа, показывает, что найденные решения имеют средний уровень технической готовности на уровне TRL 4, что не является достаточным для дальнейшего развития зарядной инфраструктуры в России.

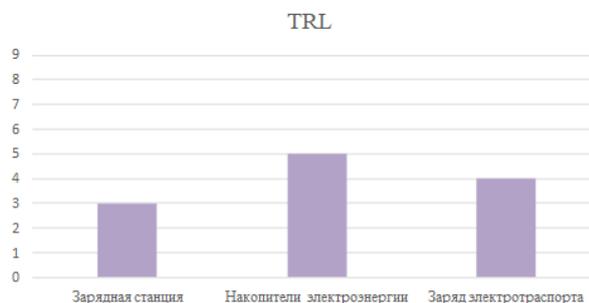


Рис.1 Диаграмма уровня готовности технологий в области зарядных установок для электротранспорта

Fig.1 Diagram of the technology readiness level in the field of charging installations for electric vehicles

Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Анализ существующих разработок не выявил решения, которые обладали бы «мобильностью» - возможностью быстрого развертывания зарядной установки для оперативного решения задач поставки электроэнергии для электротранспорта [14].

Мобильная зарядная установка для электротранспорта на базе Казанского государственного энергетического университета

Разрабатываемая мобильная установка заряда электротранспорта (МУЗЭ) ФГБОУ ВО «КГЭУ» позволит значительно повысить уровень технической готовности устройств в данной области в России, и, тем самым, даст возможность к развертыванию зарядной инфраструктуры в России.

Мобильные установки заряда электротранспорта являются уникальным решением для развития и повышения устойчивости системы электротранспорта, в частности электромобилей [15].

Обобщенная блок - схема состава МУЗЭ, разработанная авторами, представлена на рисунке 2, где СН- блок собственных нужд, УИЗ – устройство инверторное зарядное.

Данная схема строения МУЗЭ имеет общий характер и может меняться в зависимости от типа исполнения устройства заряда, общей мощности и задач, решаемых тем или иным устройством.

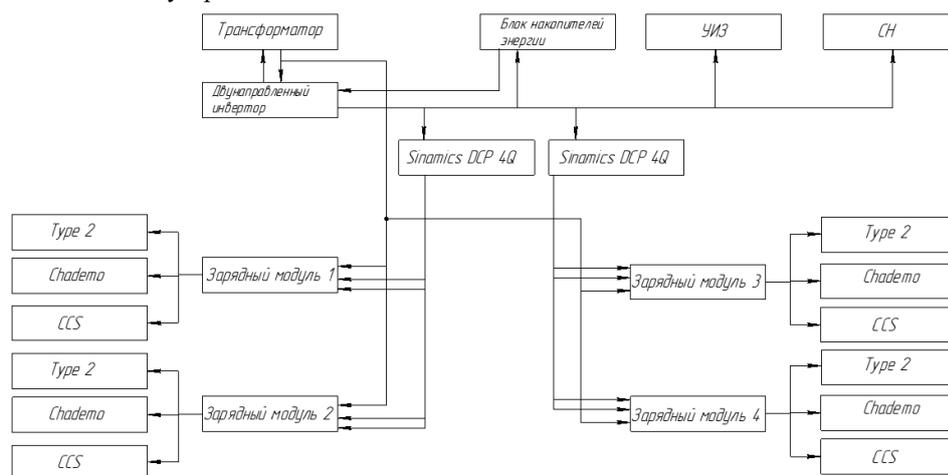


Рис.2 Обобщенная блок - схема состава МУЗЭ

Fig.2 Generalized block diagram of the composition of the MUSE

Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Выделим основные особенности разрабатываемой МУЗЭ:

- 1) Возможность не только потреблять мощность из сети, но и выдавать её за счет двунаправленного инвертора.
- 2) Наличие устройства инверторного зарядного, которое позволяет реализовать беспроводную зарядку для электротранспорта.
- 3) Наличие на зарядном посту всех основных типов зарядок для электромобилей.
- 4) Возможность интеграции возобновляемых источников энергии для дополнительного питания.
- 5) Реализация функции динамического распределения энергии между зарядными постами.

Результаты. Анализ патентной активности в области зарядных станций для электротранспорта

Результаты анализа патентной активности показывают, что активный рост динамики патентования зарядных станций для электротранспорта начался с 2014-2015 годов и практически без существенных спадов растет вверх. Из авторского рисунка 3 видно, что количество охранных документов за 17 летний период (1997-2013 гг.) составляют 37 патентов, а за 9-летний период (2014-2022 гг.) – 118. А на основе тренда экспоненциального приближения на 5 лет (коэффициент детерминации 0,79) можно говорить о том, что динамика патентования зарядных станций для электротранспорта будет стремительно развиваться, и достигнет максимального значения в 2027 году в 43 охранных документа.

Растущее внедрение электромобилей с учетом экологических требований является основным фактором тенденции развития новых технологий в области зарядных электростанций.

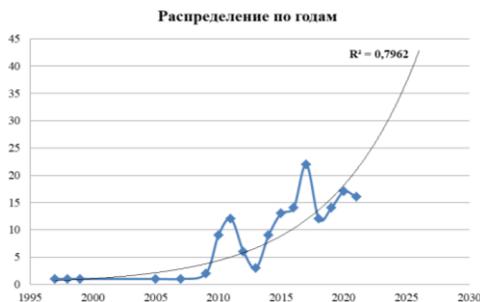


Рис.3 Результаты анализа патентной активности по годам для ключевого слова «Electric Vehicle Charging Station»

Fig.3 Results of the analysis of patent activity by years for the keyword «Electric Vehicle Charging Station»

Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Результаты анализа патентной активности показывают, что активный рост динамики патентования систем накопления электроэнергии начался с 2018 года и практически без существенных спадов растет вверх. Из авторского рисунка 4 видно, что количество охранных документов за 10 летний период (2008-2017 гг.) составляют 42 патента, а за 5-летний период (2018-2022) – 114. Основной пик приходится на 2019 год, когда было зарегистрировано 38 охранных документов, а на основе тренда можно говорить о возвращении числа патентов до 35 единиц к 2025 году. Рост динамики связан с активным внедрением портативных мобильных зарядных станций, которые включают в себя мобильную аккумуляторную систему накопления энергии, которая буксируется или переносится транспортным средством, что обеспечивает автономную работу зарядной станции.



Рис.4 Результаты анализа патентной активности по годам для ключевого слова "Energy Storage System" *Fig.4 Results of the analysis of patent activity by years for the keyword «Energy Storage System»*

Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Результаты анализа патентной активности показывают, что активный рост динамики патентования беспроводной система передачи электроэнергии для электротранспорта начался с 2017 года и практически без существенных спадов рос вверх до 2021 года, но на основе анализа тренда можно говорить о существенном увеличении патентов (40 единиц) к 2027 году. Из авторского рисунка 5 видно, что количество охранных документов за 6 летний период (2011-2016 гг.) составляет 12 патентов, а за тот же период 2017-2022 гг. – 64. Основной пик приходится на 2020 год, когда было зарегистрировано 19 охранных документов. Рост динамики связан с активным внедрением беспроводной зарядки (БПЭ), которая не требует прямого электрического соединения между электромобилями и зарядными устройствами. БПЭ является предметом многих исследований из-за его удобства и безопасности.

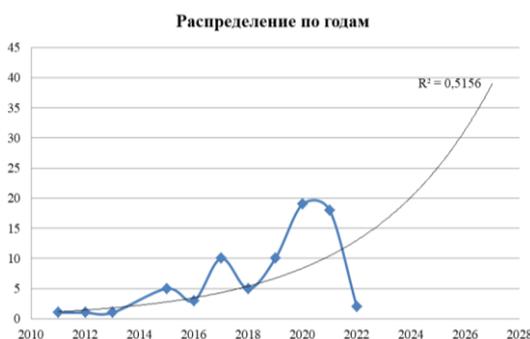


Рис.5 Результаты анализа патентной активности по годам для ключевого слова «Wireless Power Transmission Systems» *Fig.5 Results of the analysis of patent activity over the years for the keyword "Wireless Power Transmission Systems"*

Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Результаты анализа патентной активности по годам для зарядных станций для электротранспорта, систем накопления электроэнергии, беспроводных систем передачи электроэнергии показывают, что активный рост динамики патентования начался с 2015 года. Так от общего числа охранных документов в процентном соотношении патентов до 2015 года – 23%, а после – 77%. Наибольшую динамику показывают системы накопления

электроэнергии для зарядных станций и беспроводные системы передачи электроэнергии электротранспорту. Это говорит о том, что данные технологии на ближайшее время являются наиболее перспективными и востребованными для зарядных станций для электротранспорта.

В настоящее время для успешного продвижения продукции на рынке мало выпускать качественную продукцию на своих предприятиях. Чтобы продукция была конкурентоспособна необходимо иметь как можно более полную информацию о фирмах-производителях данной продукции, об их научной и производственной базах, о состоянии на этих фирмах патентно-лицензионной деятельности, о существующей на предприятиях научно-технической политике.

Знание всего спектра составляющих не только производственной, но и научной деятельности фирм конкурентов позволит более своевременно реагировать на изменения конъюнктуры рынка, тенденций развития продукции, на постоянно меняющийся спрос.

Заключение

Мобильные зарядные устройства для электромобилей — это уникальное решение для развития и устойчивости системы электротранспорта, в частности электромобилей. По сравнению с источниками литературного обзора, представлена оригинальная схема МУЗЭ отечественного производства, у которой существуют уникальные особенности.

По результатам патентного поиска были выявлены различные разработчики и технические решения, имеющие назначение, соответствующее регламенту патентного поиска, и связанных с созданием или модернизацией отдельных частей электромобильной зарядной инфраструктуры, и при этом с высоким техническим уровнем.

Технические решения разработчиков в области зарядной имеют уровень технической готовности TRL 4, потому что они находятся на стадии апробации лабораторных разработок для испытаний способов заряда электромобилей, что не является достаточным для дальнейшего развития зарядной инфраструктуры в России. Сегодня нет отечественных зарядных станций, которые могли бы обеспечить гибкость, мобильность, обеспечить зарядку различных потребителей, и все решения частично удовлетворяют тем задачам, которые сегодня ставятся перед зарядной инфраструктурой.

Разработанная мобильная зарядная установка для электромобилей ФГБОУ ВО «КГЭУ» и ООО ПО «Зарница» значительно повысит уровень технической готовности устройств в этой сфере в России и, тем самым, позволит активнее развивать не только зарядную инфраструктуру, но и в перспективе стать базой для разработок в области накопителей энергии для регулирования частоты энергосистемы, и зарядных установок для беспилотных летательных аппаратов.

Литература

1. Gray N., McDonagh S., O'Shea R., et.al. Decarbonising ships, planes and trucks: An analysis of suitable low-carbon fuels for the maritime, aviation and haulage sectors // *Adv. Appl. Energy* 2021, 1, 100008.
2. Alhazmi Y.A., Mostafa H.A., Salama M.M.A. Optimal allocation for electric vehicle charging stations using trip success ratio // *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 91 (2017), pp. 101-116.
3. Sathaye N., Kelley S. An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors // *Transp. Res. Part E*, 59 (2013), pp. 15-33.
4. Clemente M., Fanti M.P., Ukovich W. Smart management of electric vehicles charging operations: The vehicle-to-charging station assignment problem // *IFAC Proc. Vol.*, 47 (3) (2014), pp. 918-923.
5. Wolbertus R., Jansen S., Kroesen M. Stakeholders perspectives on future electric vehicle charging infrastructure developments // *Futures*, 123 (2020), Article 102610.
6. Benysek G., Jarnut M. Electric vehicle charging infrastructure in Poland // *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (1) (2012), pp. 320-328.
7. Ghosh A. Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector. A review // *Energies*, 13 (10) (2020), p. 2602
8. Lam A.Y.S., Leung Y.-W., Chu X. Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions // *IEEE Trans. Smart Grid*, 5 (6) (2014), pp. 2846-2856
9. Afshar S., Macedo P., Mohamed F. and Disfani V. Mobile charging stations for electric vehicles. A review // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 152, 111654.
10. 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.
11. 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
12. Bruninga R. Overlooking II charging at-work in the rush for public charging speed // *IEEE International Electric Vehicle Conference*. IEEE, 2012, pp. 1–5.
13. Грачева Е.И., Наумов О.В., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Алгоритмы и вероятностные модели параметров функционирования внутривозового электроснабжения // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 93-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104. – EDN DSIMFU.
14. Rajper S.Z., Albrecht J. Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review // *Sustainability* 2020, 12, 1906.
15. Yu, M.; Hynan, P.; von Jouanne, A.; Yokochi, A. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements // *Energies* 2019, 12, 1074.
16. Wang L., Qin Z., Slangen T., et.al. Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures—An Overview // *IEEE Open J. Power Electron*. 2021, 2, 56–74.

Авторы публикации

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

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

Низамиев Марат Фирденатович – канд. техн. наук, доцент кафедры «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 – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

References

1. Gray N., McDonagh S., O’Shea R., et.al. Decarbonising ships, planes and trucks: An analysis of suitable low-carbon fuels for the maritime, aviation and haulage sectors. *Adv. Appl. Energy* 2021;1: 100008.
2. Alhazmi Y.A., Mostafa H.A., Salama M.M.A. Optimal allocation for electric vehicle charging stations using trip success ratio. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* 2017;91:101-116.
3. Sathaye N., Kelley S. An approach for the optimal planning of electric vehicle infrastructure for highway corridors. *Transp. Res. Part E*. 2013;59:15-33.
4. Clemente M., Fanti M.P., Ukovich W. Smart management of electric vehicles charging operations: The vehicle-to-charging station assignment problem. *IFAC Proc.* 2014;47(3):918-923.
5. Wolbertus R., Jansen S., Kroesen M. Stakeholders perspectives on future electric vehicle charging infrastructure development. *Futures*. 2020;123:102610.
6. Benysek G., Jarnut M. Electric vehicle charging infrastructure in Poland. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012;16(1):320-328.
7. Ghosh A. Possibilities and challenges for the inclusion of the electric vehicle (EV) to reduce the carbon footprint in the transport sector. A review. *Energies*. 2020;13(10):2602.
8. Lam A.Y.S., Leung Y.-W., Chu X. Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions. *IEEE Trans. Smart Grid*. 2014;5(6):2846-2856.
9. Afshar S., Macedo P., Mohamed F. and Disfani V. Mobile charging stations for electric vehicles. A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021;152:111654.
10. Safin A.R., Ivshin I.V., Cvetkov A.N., Petrov T.I., Basenko V.R., Manahov V.A. Development of technology of mobile charging stations for electric vehicles. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2021;23;5:100-114.
11. Cui S., Zhao H., Wen H., and C. Zhang. Locating multiple size and multiple type of charging station for battery electricity vehicles. *Sustainability*. 2018;10;9:3267
12. Bruninga R. Overlooking II charging at-work in the rush for public charging speed. *IEEE International Electric Vehicle Conference*. 2012:1–5.
13. Gracheva E. I., Naumov O. V., Gorlov A. N., Shakurova Z. M. Algorithms and probabilistic models of the parameters of functioning of intraplant power supply. *Energy*

problems. - 2021. - T. 23, No. 1. - S. 93-104. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104. - EDN DSIMFU.

14. Rajper S.Z., Albrecht J. Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review. *Sustainability*. 2020;12:1906.

15. Yu, M.; Hynan, P.; von Jouanne, A.; Yokochi, A. Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies* 2019;12:1074.

16. Wang L., Qin Z., Slangen T., et.al. Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures—An Overview. *IEEE Open J. Power Electron*. 2021;2:56–74.

Authors of the publication

Alfred R. Safin - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Vasily R. Basenko - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Marat F. Nizamiev - 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.

Шифр научной специальности: 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (технические науки)

Получено 26.06.2023 г.

Отредактировано 03.07.2023 г.

Принято 05.07.2023 г.