

## Применение мобильных систем накопления электроэнергии для сельскохозяйственной техники с тяговым электроприводом

К.Е. Карпухин, А.Ф. Колбасов, П. Итурралде Бакеро, Р.В. Зимов, С.Э. Земцев

Московский политехнический университет, Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

Проблема сокращения выбросов парникового газа является актуальной не только для производственных предприятий, автомобильного транспорта, но и для сельского хозяйства. Декарбонизация отрасли включает перевод тракторов и сельскохозяйственных машин на тяговый электропривод, но порождает ряд проблем, в том числе и с зарядной инфраструктурой. Одним из способов решения дефицита электроэнергии могут являться мобильные электростанции с накопителями энергии. Целью обзора является поиск решений альтернативных методов развития зарядной инфраструктуры, которая может быть применима в сельскохозяйственной отрасли.

При проведении исследований использован метод анализа существующих проблем развития инфраструктуры зарядных станций и предложены методы их решения. Предложено новое направление развития зарядной инфраструктуры и методы решения проблем неравномерной загрузки электросетей. Проведен анализ конструкций тракторов с электроприводом, мобильных электростанций и разъемов для них. Обозначена актуальность использования накопителей энергии с целью снижения зависимости от электросетей и повышения мобильности и радиуса действия электротранспорта.

Применение предложенных решений в транспортной инфраструктуре позволит сделать более комфортной эксплуатацию как сельскохозяйственного, так и дорожного электротранспорта и будет способствовать ускорению темпов развития транспортных средств с электроприводом. Применение предложенных решений в энергосетях позволит снизить пиковые локальные нагрузки и будет способствовать более равномерному распределению энергии и нагрузки на генерирующие мощности.

**Ключевые слова:** мобильные зарядные станции (ЭЗС); распределение мощности; вторичное использование литий-ионных аккумуляторов (ЛИА); развитие зарядной инфраструктуры; накопитель энергии; электротранспорт; гибриды; электромобили; электротрактор; агровольтаика.

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Карпухин К.Е., Колбасов А.Ф., Итурралде Бакеро П., Зимов Р.В., Земцев С.Э., Применение мобильных систем накопления электроэнергии для сельскохозяйственной техники с тяговым электроприводом // Тракторы и сельхозмашины. 2025. Т. 92, № 4. С. **х-у**. DOI: 10.17816/0321-4443-680800 EDN: GLJARQ

## Application of Mobile Electric Power Storage Systems for Agricultural Machinery with Traction Electric Drive

Kirill E. Karpukhin, Aleksei F. Kolbasov, Pablo Iturralde Baquero, Roman V. Zimov, Semen E. Zemtsev

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

### ABSTRACT

The problem of reducing greenhouse gas emissions is relevant not only for manufacturing enterprises, motor transport, but also for agriculture. Decarbonization of the industry includes the conversion of tractors and agricultural machinery to traction electric drive, but creates a number of issues, including with charging infrastructure. Mobile electric charging stations with energy storage devices can be one of the ways to solve the shortage of electricity. Aim of the review is to find solutions for alternative methods of charging infrastructure development that can be applied in the agricultural sector.

During the research, the method of analyzing the existing problems of the charging station infrastructure development was used and methods for their solution were proposed. A new direction for the development of charging infrastructure and methods for solving problems of uneven loading of electric grids are proposed. Results. The analysis of designs of tractors with electric drive, mobile electric charging stations and electric charging connectors is carried out. The relevance of using energy storage devices in order to reduce dependence on electric grids to increase mobility and range of electric transport is indicated.

The application of the proposed solutions in the transport infrastructure will make it more convenient to operate both agricultural and road electric vehicles and will help accelerate the development of electric vehicles. The application of the proposed solutions in power grids will reduce peak local loads and will contribute to a more even distribution of energy and load on generating capacities.

**Keywords:** mobile charging stations (MCS); power distribution; secondary use of lithium-ion batteries (LIB); development of charging infrastructure; energy storage; electric transport; hybrids; electric vehicles; electric tractor; agrovoltatics.

### TO CITE THIS ARTICLE:

Karpukhin KE, Kolbasov AF, Iturralde Bakero P, Zimov RV, Zemtsev SE. Application of Mobile Electric Power Storage Systems for Agricultural Machinery with Traction Electric Drive. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2025;92(4):x-y. DOI: 10.17816/0321-4443-680800 EDN: GLJARQ

## ОБОСНОВАНИЕ

Сельское хозяйство — одна из важнейших отраслей экономики, обеспечивающая продовольственную безопасность стран и удовлетворение потребностей граждан. С каждым днем мы сталкиваемся с растущим спросом на продукты питания, поскольку население становится все более многочисленным и в то же время уменьшает способность производить продукты питания. Вопрос заключается в том, сможет ли сельское хозяйство преодолеть фокусировку на симптомах ухудшающейся ситуации и решить возникающие проблемы. Для их решения концепция устойчивого сельского хозяйства постоянно обогащается. Центральная роль отрасли заключается в увеличении использования возобновляемых и резервных источников энергии в качестве проверенной альтернативы сохранению ресурсов и поддержанию стабильности производства.

## АГРОВОЛЬТАИКА — СТИМУЛ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Внедрение генерации электроэнергии на сельскохозяйственных землях в 1981 году было обозначено как новая технология в аграрной промышленности и получила название агровольтаика [1]. В результате внедрения фотоэлектрических преобразователей на полях (рис. 1) удастся не только получать электроэнергию, но и удерживать до 40% влаги в почве, что благоприятно влияет на рост различных культур [2].



a)



b)

**Рис. 1.** Примеры использования технологии агровольтаика в различных частях мира. а — во Франции; заимствовано из: <https://www.euronews.com/green/2022/10/10/here-are-all-the-positive-environmental-stories-from-2022-so-far>. (информация о правообладателе отсутствует из-за недоступности web-сайта); б — во Вьетнаме; заимствовано из: <https://solarpower.vn/ba-con-mien-nui-bac-ai-tiep-can-voi-dien-nang-luong-mat-troi/>. © Solar Power, 2022. Все права защищены.

**Fig. 1.** Examples of the use of agro-voltaic technology in various parts of the world. a — in France; borrowed from: <https://www.euronews.com/green/2022/10/10/here-are-all-the-positive-environmental-stories-from-2022-so-far>. (information about the copyright holder is missing due to the inaccessibility of the website); b — in Vietnam; borrowed from: <https://solarpower.vn/ba-con-mien-nui-bac-ai-tiep-can-voi-dien-nang-luong-mat-troi/>. © Solar Power, 2022. All rights reserved.

В Российской Федерации на примере Краснодарского края проведён опыт двойного использования сельскохозяйственных земель с установкой фотоэлектрических электростанций [3]. Авторами отмечено, что Краснодарский край обладает большим набором факторов, подчеркивающих актуальность внедрения агровольтаики: высокий уровень инсоляции, дефицит генерации в регионе, высокие тарифы для предпринимателей и возможность подключения частных электростанций в распределительную сеть по механизму микрогенерации.

Интеграция возобновляемых источников энергии в устойчивое сельское хозяйство и животноводство имеет решающее значение для доступа к современным энергетическим технологиям на любой ферме, независимо от её местонахождения и наличия инфраструктуры передачи электроэнергии. Таким образом, в связи с динамичным развитием научно-технического прогресса, неуклонно повышается уровень

электрификации и автоматизации в сельском хозяйстве. Путём внедрения автоматизированных систем фермерам удастся достичь большей эффективности и производительности, а также качественно повысить урожайность. В силу того, что автоматизация и модернизация сельскохозяйственного производства, способы переработки и хранения продукции основаны на стабильном снабжении электричеством, то возникает необходимость в развитии сферы альтернативного энергоснабжения, внедрения альтернативных источников энергии, стационарных и мобильных накопителей энергии. Особую актуальность эта задача приобретает в регионах с плохим качеством сетей, низкой степенью электрификации, высокой ценой за электроснабжение и большой вероятностью перебоев в работе генераторного оборудования, т.к. требования к качеству энергоснабжения растут по мере увеличения доли автоматизации производственных процессов. На первом плане в данной концепции стоит внедрение альтернативных источников энергии. Проблема заключается в том, что локализация этих источников связана с повышением эффективности их работы и зачастую находится на значительном удалении от потенциальных потребителей. Для решения этой задачи целесообразно использовать мобильные накопители энергии и зарядные станции.

## **СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ИХ ПРИМЕНИМОСТЬ**

Концепция использования накопителей для зарядки электротранспорта актуальна не только для снабжения стационарного оборудования, но и для сельскохозяйственной техники и тракторов. При развитии беспилотных технологий в сельском хозяйстве возможен частичный переход на электропривод и/или гибридные силовые установки с целью снижения выбросов вредных веществ при работе техники в связи с общемировыми тенденциями и ратифицированным в 2019 году президентом Российской Федерации соглашением в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г. (Парижское соглашение 2015 г.). Накопители электроэнергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей смогут восполнять запас энергии за счёт солнечных батарей или ветряных генераторов, а затем использоваться для зарядки тракторов и иной техники непосредственно в полях. Таким образом, передвижные накопители энергии и системы замены аккумуляторных батарей могут занять свою нишу и в этой отрасли.

В качестве примера для оценки необходимой ёмкости аккумуляторных батарей сельскохозяйственной техники с тяговым электроприводом можно рассмотреть популярную модель трактора с тяговым электроприводом Monarch MK-V [4], прототип немецкой компании ONOX 1 [5] и беспилотный сельскохозяйственный трактор Ladybird [6].

Полноприводный трактор с тяговым электроприводом Monarch MK-V (рис. 2) обладает номинальной мощностью 30 кВт и, в зависимости от навесного оборудования и типа работ, способен на одном заряде выполнять работу до 14 ч. Восполнение запаса электроэнергии возможно мощностью до 80 А в течение 6 ч. Учитывая рабочую смену и наличие перерывов, трактор можно заряжать во время простоев как раз от передвижных зарядных комплексов и не допускать полной разрядки аккумуляторной батареи.

На прототипе ONOX 1 (рис. 3) предлагается помимо аккумуляторной батареи в составе транспортного средства ёмкостью 20 кВтч, использовать внешний накопитель ёмкостью 30 кВтч, который может выполнять функцию противовеса — предусмотрено 3 места расположения внешней аккумуляторной батареи в зависимости от вида выполняемых работ. Такое решение позволяет восполнять запас энергии без простоя техники на зарядку.

Сельскохозяйственный робот Ladybird предназначен для выполнения ряда задач включая обнаружение и борьбу с вредителями, мониторинг урожая и обнаружение дефицита питательных веществ и ориентирован на ночную работу, когда большинство других сельскохозяйственных роботов не используются. При выявлении дефицита питательных веществ будет проведено микродозирование химикатов, которые следует использовать в растениях. Также при распознавании сорняков, робот способен точно применять гербициды.

В качестве проблематики внедрения таких роботов указано, что проблемой может стать отсутствие возможности восполнения запаса электроэнергии в полевых условиях, следовательно, подзарядка от мобильных ЭЭС также будет актуальна и для этого типа машин.





**Рис. 2.** Трактор с тяговым электроприводом Monarch МК-V. Заимствовано из: <https://www.monarchtractor.com/hs-fs/hubfs/mkv-base%2Bballasts.png?width=400&name=mkv-base%2Bballasts.png>. © Zimeno Inc. dba Monarch Tractor, 2022. Все права защищены

**Fig. 2.** Tractor with electric traction Monarch MK-V. Borrowed from: <https://www.monarchtractor.com/hs-fs/hubfs/mkv-base%2Bballasts.png?width=400&name=mkv-base%2Bballasts.png>. © Zimeno Inc. dba Monarch Tractor, 2022. All rights reserved.



**Рис. 3.** Трактор с тяговым электроприводом ONOX 1 и схема использования сменных аккумуляторных батарей. А — с аккумуляторной батареей в базе; b — с аккумуляторной батареей на подвесе сзади; c — с аккумуляторной батареей на подвесе спереди; d — общий вид электротрактора и съемного аккумуляторного блока. Изображение адаптировано с изменениями из: <https://framerusercontent.com/images/pTX5xB7qNTgmypHND9Besvn1zs.jpg?scale-down-to=2048>. © ONOX, 2025. Все права защищены.

**Fig. 3.** Tractor with electric traction drive ONOX 1 and a scheme for using replaceable batteries. a, with a battery in the base; b, with a battery on a suspension at the back; c, with a battery on a suspension at the front; d, general view of the electric tractor and removable battery pack. The image is adapted with changes from: <https://framerusercontent.com/images/pTX5xB7qNTgmypHND9Besvn1zs.jpg?scale-down-to=2048>. © ONOX, 2025. All rights reserved.

## АНАЛИЗ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Помимо сельскохозяйственных машин применение мобильных зарядных станций актуально и для восполнения запаса энергии электромобилей и гибридов при отсутствии зарядной инфраструктуры. На 1 января 2025 г. в Российской Федерации зафиксировано 115 тысяч электромобилей и гибридных автомобилей [7]. Рост парка транспортных средств с тяговым электроприводом в России значительно увеличился за последние два года в связи с развитием рынка автомобилей из КНР, где в связи со множеством факторов электротранспорт широко поддерживается государством и активно внедряется.

Одним из факторов развития парка транспортных средств с электроприводом является доступность зарядной инфраструктуры. В настоящий момент в Российской Федерации действует 8185 зарядных станций, из которых 3805 быстрых (более 50 кВт) и 4380 медленных (до 50 кВт) [8].

Согласно результатам проведённого в России исследования [9], рекомендуемое количество зарядных станций к количеству электромобилей, в соответствии с мировым опытом, составляет 1:8. В настоящее время в Российской Федерации этот показатель составляет 1:14, что говорит о незрелости сервисов зарядной инфраструктуры, что во многом осложняет расширение парка доступных электромобилей и ограничивает корректное использование гибридных автомобилей с комбинированной энергоустановкой последовательного типа. Несмотря на значительные усилия министерств и правительств разных стран, степень покрытия зарядных станций ещё очень далека от совершенства. Причины довольно просты:

1. Высокая стоимость оборудования зарядных станций быстрой зарядки DC, наиболее востребованных на дорогах и в местах общественного пользования.
2. Требуется довольно большой уровень выделенной мощности, далеко не везде возможна установка ЭЗС, требуется реконструкция распределительных сетей.
3. Упущено время начала развития данной тематики на мировом уровне.
4. Отсутствие окупаемости на данной стадии развития отталкивает частных инвесторов, оставляя надежду только на государственное финансирование.
5. Дорогостоящая и длительная процедура технического присоединения и организации ЭЗС на улично-дорожной сети.

Преодолеть большинство этих причин сдерживания и сдвинуть проблему «курицы и яйца» (которая выражается в оценке первичности спроса или предложения) с мёртвой точки могло бы развитие тематики и сервиса мобильных ЭЗС, основанных на накопителях из электрохимических аккумуляторов.

В качестве источника энергии в большинстве мобильных ЭЗС используются литий-ионные аккумуляторы (ЛИА), что позволяет отказаться от довольно дорогих, мощных высоковольтных преобразователей AC-DC за счёт прямой передачи постоянного тока из накопителя мобильной ЭЗС в аккумуляторную батарею электромобиля. Передача энергии от DC накопителя в батарею ЛИА электромобиля происходит довольно быстро (ограничение накладывают только характеристики коммутационного оборудования) и практически без потерь с высоким КПД.

Также стоит отметить, что отсутствие выделенных мощностей не является проблемой для развития темы мобильных ЭЗС, т.к. зарядка их происходит в медленном режиме на маленьких мощностях в удобное для этого, преимущественно ночное время. Такие накопители могут восполнять запас электроэнергии во внепиковые периоды подачи электроэнергии, тем самым сглаживая кривую потребления. Ещё одной характерной особенностью является то, что мобильные ЭЗС не требуют разработки и согласования комплекта конструкторской документации в отличие от установки стационарных ЭЗС, что значительно сокращает сроки внедрения в эксплуатацию.

В связи с опубликованными положениями новых экологических требований к автомобильному транспорту «Правила ЕС № 2024/1257 об утверждении типа механических транспортных средств и двигателей, а также систем, компонентов и отдельных технических узлов, предназначенных для таких транспортных средств, в отношении выбросов вредных веществ и срока службы аккумуляторов (Евро-7)» [10], где устанавливается требование к батареям ЛИА электромобилей и гибридов в отношении ресурса — на пробеге транспортного средства в 100 000 км, SOH аккумуляторной батареи не должен опуститься

ниже 80%. Следовательно, аккумуляторные батареи на основе ЛИА после изъятия из транспортного средства могут быть вторично использованы в мобильных ЭЗС. Такое направление повторного использования ЛИА имеет хорошие перспективы в части окупаемости производства мобильных ЭЗС. Таким образом и решится проблема утилизации ЛИА, принося дополнительную прибыль этим проектам и что немаловажно, при этом значительно повышается остаточная стоимость электротранспорта, которая на сегодняшний день, является еще одним из основных сдерживающих факторов развития электротранспорта.

### АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ ЭЗС

Мобильные ЭЗС можно компоновать по принципу гибридных накопителей совместно с суперконденсаторами [11] с целью получения более высоких выходных характеристик для зарядки транспортных средств, при этом без дополнительной нагрузки на электрические сети.

Отдельно необходимо отметить, что в случае оснащения мобильных зарядных станций преобразователями DC-AC они способны отдавать энергию в сеть в любом месте, испытывающем дефицит выделенной мощности. Кроме того, с целью снижения себестоимости мобильных ЭЗС, преобразователями DC-AC можно оснащать места их постоянной локации и зарядки. При должном уровне развития сети мобильных ЭЗС и их интеграции в сетевую энергоструктуру распределения мощности можно значительно снизить нагрузку на генерирующие мощности, сети распределения и расходы на создание подстанций компенсации потребляемой мощности. Особенно это актуально в срезе развития атомной энергетики, т.к. для повышения эффективности работы атомных станций требуется стабильность потребляемой мощности.

Стоит отметить, некоторые проблемы использования мобильных ЭЗС: необходимость затрат электроэнергии на собственные нужды. Как в жарких странах [12], так и в странах с холодным климатом, основной проблемой будет являться рабочая температура мобильной ЭЗС в процессе разряда и заряда при уличном хранении. Но эта проблема решается дооснащением системой терморегулирования, которая способна будет регулировать температуру в зависимости от алгоритма работы или дооснащением системой охлаждения, если мобильную ЭЗС использовать исключительно при положительной температуре, например, в подземном паркинге или в субтропическом климатическом поясе.

Формат возможной реализации проектов мобильных ЭЗС довольно разнообразен и востребован.

Мобильные зарядные станции большой мощности и энергоёмкости на базе грузового шасси (см. рис. 4) обладают значительным объёмом блоков аккумуляторов и могут иметь в своём составе мощный генератор. Такая комплектация позволяет производить зарядку тяжёлой техники на электротяге и не зависеть от электросетей [13]. Такой подход может быть использован как для подзарядки легковых электромобилей, так и для постоянного питания строительной техники с электроприводом.

Мобильные ЭЗС на базе малотоннажных фургонов (рис. 5) позволяют производить оперативную подзарядку электромобилей на дорогах и трассах. Такие мобильные комплексы могут быть дооборудованы генераторами на основе двигателя внутреннего сгорания или электрохимического генератора на водородных топливных элементах, что позволит использовать такие установки и для передачи электроэнергии обратно в сеть в случае аварийных ситуаций.

Отметим, что диагностика остаточного пробега в электромобилях не всегда корректно рассчитывает пробег до ближайшей зарядной станции, особенно в зимнее время, то владельцы электромобилей могут попадать в неприятные ситуации в условиях слабо развитой сети зарядных станций [14]. Малотоннажные фургоны в основном используются для подзарядки разряженных электромобилей. В России аналогичные проекты могли бы найти свое применение и в столичном ЦОДД, поскольку Москва обладает самым большим в России парком электромобилей и подзаряжаемых гибридов. Но инфраструктура недостаточно развита, чтобы учесть все аварийные ситуации на дорогах, например, заторы на МКАД во время снегопадов, когда пассажиры электромобилей вынуждены разряжать аккумуляторную батарею системой отопления, стоя в пробках.





**Рис. 4.** Мобильная электростанция на базе грузового шасси. Заимствовано из: <https://cdn.matador.tech/source//2/E2yoauIDp4Wp4x5zWA17-vSAIOVpudiE.jpeg> © портал Matador. 2021. Все права защищены.

**Fig. 4.** A mobile electric charging station based on a cargo chassis. Borrowed from: <https://cdn.matador.tech/source//2/E2yoauIDp4Wp4x5zWA17-vSAIOVpudiE.jpeg> © Matador portal. 2021. All rights reserved.



a)



b)

**Рис. 5.** Мобильные электростанции на базе малотоннажных фургонов: а — на базе фургона N1, b — на базе фургона M1. Заимствовано из <https://images.forococheselectricos.com/image//1100w/wp-content/uploads/2014/05/Tim-Hartles-demonstrates-the-RACs-new-electric-charger-2-800x579.jpg> © ZERauto.nl, 2014. Все права защищены; и <http://https://www.pinterest.com/pin/angel-car-worlds-first-mobile-charging-station-for-electric-cars--431923420493496566/> (доступ к информации о правообладателе заблокирован)

**Fig. 5.** Mobile electric charging stations based on low tonnage vans: a, based on the N1 van; b, based on the M1 van. Borrowed from <https://images.forococheselectricos.com/image//1100w/wp-content/uploads/2014/05/Tim-Hartles-demonstrates-the-RACs-new-electric-charger-2-800x579.jpg> © ZERauto.nl, 2014. All rights reserved; and <http://https://www.pinterest.com/pin/angel-car-worlds-first-mobile-charging-station-for-electric-cars--431923420493496566/> (access to information about the copyright holder is blocked).

Мобильные ЭЗС на базе прицепов (рис. 6) довольно удобны в эксплуатации, т.к. могут перемещаться любым авто с прицепным устройством и пополнять заряд в медленном режиме в ночное время. Кроме того, данное решение вполне обоснованно использовать на коммунальной технике, использующей электропривод, что позволит сократить простои во время зарядки и значительно повысит коэффициент использования уборочной техники. Данная модель мобильных ЭЗС по своей сути аналогична технологии быстрой замены аккумуляторной батареи на электромобиле, т.е. запас энергии этих модулей может быть восполнен во внепиковые периоды в непосредственной близости от электростанций, а затем модули транспортируются на парковочные пространства или в зону перехватывающих парковок. В течение дня можно обеспечить ротацию этих модулей, отслеживая состояние заряда на каждом. Следует отметить, что такие модули можно транспортировать и для обеспечения электроэнергией различные городские мероприятия без применения дизель-генераторов.





**Рис. 6.** Примеры мобильных электрозарядных станций на базе прицепа. Заимствовано из: <http://img.suv666.com/mcn/news/article/d1bdce932b98e407f293ffbf1539b017.jpg>-690x . (Доступ к информации о правообладателе заблокирован или сайт не работает)

**Fig. 6.** Examples of mobile electric charging stations based on a trailer. Borrowed from: <http://img.suv666.com/mcn/news/article/d1bdce932b98e407f293ffbf1539b017.jpg>-690x . (Access to information about the copyright holder is blocked or the site is down).

Мобильные ЭЗС на базе мото- и велотрайков (рис. 7) будут полезны в условиях пробок мегаполисов, благодаря своей мобильности и способности передвигаться в плотных городских потоках [15]. Такие станции могут быть применимы и для средств индивидуальной мобильности в рамках локальных мероприятий.



**Рис. 7.** Мобильная электрозарядная станция на базе велотрайка. Заимствовано из: <https://a.d-cd.net/iP42d1BzyQy21DnIs6HcrMyq7ug-1920.jpg>. Доступ к информации о правообладателе заблокирован или сайт не работает). 2019.

**Fig. 7.** Mobile electric charging station based on a bike ride. Borrowed from: <https://a.d-cd.net/iP42d1BzyQy21DnIs6HcrMyq7ug-1920.jpg>. Access to information about the copyright holder is blocked or the site is down). 2019.

Носимые мобильные ЭЗС (рис. 8), по аналогии с мобильными телефонами, выполняют функцию Power Bank для экстренной подзарядки электромобиля или гибрида, предоставляя владельцу возможность добраться до ближайшей ЭЗС [16].

Вторая функция таких накопителей заключается и в обеспечении электроэнергией бытовых объектов. Например, при применении на гибридных транспортных средствах, такая мобильная ЭЗС может быть подключена к энергосистеме транспортного средства и запасать излишки электроэнергии, как при рекуперации, так и при работе ДВС или ЭХГ на водородных топливных элементах. Очевидным минусом будет только то, что такой накопитель необходимо оборудовать AC/DC преобразователем мощностью до 5 кВт.



**Рис. 8.** Носимая мобильная электростанция. Заимствовано из: <https://namstare.ro/wp-content/uploads/2021/03/imzzqfyb89eth3wj7kfc.jpg>. Информация о правообладателе недоступна.

**Fig. 8.** A portable mobile electric charging station. Borrowed from: <https://namstare.ro/wp-content/uploads/2021/03/imzzqfyb89eth3wj7kfc.jpg> . Information about the copyright holder is not available.

Такая практика применяется в Японии и предлагалась для рынка США: в 2015 году был представлен гибридный автомобиль с ЭХГ на водородных топливных элементах Honda Clarity Fuel Cell (рис. 9).



**Рис. 9.** Honda Clarity Fuel Cell и модуль Power Exporter 9000. Заимствовано из: <https://www.log.com.tr/wp-content/uploads/2017/02/clartiy-660x371.jpg>. © Honda Motor Co., Ltd. и ее дочерние и зависимые компании. 2014. Все права защищены.

**Fig. 9.** The Honda Clarity Fuel Cell and the Power Exporter 9000 module. Borrowed from: <https://www.log.com.tr/wp-content/uploads/2017/02/clartiy-660x371.jpg> . © Honda Motor Co., Ltd. and its subsidiaries and affiliates. 2014. All Rights Reserved.

Данный автомобиль можно было дооснастить модулем Power Exporter e: 6000 и Power Exporter 9000 [17], который был оснащён всем необходимым оборудованием для подключения среднестатистического частного дома к автомобилю с целью обеспечения электроэнергией. Power Exporter e: 6000 может выдавать мощность до 6 кВА, а Power Exporter 9000 до 9 кВА. По своей сути данный модуль являлся AC/DC преобразователем, но его конструкцию можно дооснастить и аккумуляторной батареей.

Мобильные ЭЗС для общественных паркингов и стоянок (см. рис. 10) представляют особый интерес в условиях дефицита ЭЗС на парковочных местах и позволяют владельцам

## НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

электромобилей и гибридов не привязываться к местоположению зарядной станции на парковке, выбирая для стоянки любое свободное место.

В качестве примера использования бывших в употреблении литий-ионных аккумуляторов в мобильных ЭЗС выступил стартап Freewire с мобильной ЭЗС MOBI [18]. В компании провели исследование и выяснили, что стационарная ЭЗС способна обслужить в среднем два электромобиля в течение рабочего дня, поскольку приходится ожидать освобождения парковочного места. Мобильная зарядная станция, по мнению разработчиков, позволяет сократить время на поиск места у ЭЗС, а пользователи их приложения могут заказать мобильную ЭЗС к своему парковочному месту, что позволяет обслуживать пять-шесть электромобилей.



**Рис. 10.** Мобильная электрозарядная станция для общественных паркингов и стоянок. Заимствовано из: [https://soymotor.com/sites/default/files/usuarios/redaccion/portal/javimartin/bp-free-wire-mobi-charger\\_3.jpg](https://soymotor.com/sites/default/files/usuarios/redaccion/portal/javimartin/bp-free-wire-mobi-charger_3.jpg). © Producciones Audiovisuales SoyMotor, S.L. Copyright, 2018. Все права защищены.

**Fig. 10.** Mobile electric charging station for public parking lots and parking lots. Borrowed from: [https://soymotor.com/sites/default/files/usuarios/redaccion/portal/javimartin/bp-free-wire-mobi-charger\\_3.jpg](https://soymotor.com/sites/default/files/usuarios/redaccion/portal/javimartin/bp-free-wire-mobi-charger_3.jpg). © Producciones Audiovisuales SoyMotor, S.L. Copyright, 2018. All rights reserved.

В условиях подземного паркинга данная тема может перерасти в роботизированные комплексы. Примеры подобных решений уже успешно реализованы компаниями «Samsung» (EVAR) (рис. 4211) [19] и «Volkswagen Group» (рис. 4412) [20].



**Рис. 11.** Роботизированная мобильная зарядная станция EVAR от «Samsung». Заимствовано из: <https://cdn.hevcars.com.ua/wp-content/uploads/2018/09/samsung-ev-ar-hevcars-1.jpg>. (Правообладатель неизвестен, web-сайт недоступен)

**Fig. 11.** Samsung's EVAR robotic mobile charging station. Borrowed from: <https://cdn.hevcars.com.ua/wp-content/uploads/2018/09/samsung-ev-ar-hevcars-1.jpg>. (Copyright holder unknown, website unavailable)





**Рис.12.** Концепция роботизированного зарядного комплекса от «Volkswagen Group». Заимствовано из: <https://i.bstr.es/highmotor/2019/12/volkswagen-robot-carga-1-880x440.jpg>. © Volkswagen. 2019. Все права зарегистрированы.

**Fig. 12.** The concept of a robotic charging complex from Volkswagen Group. Borrowed from: <https://i.bstr.es/highmotor/2019/12/volkswagen-robot-carga-1-880x440.jpg>. © Volkswagen. 2019. All rights are registered.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТУАЛЬНОГО СТАНДАРТА РАЗЪЁМА

На основании Приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 29.04.2022 № 1776 "Об утверждении технических характеристик оборудования стационарной автомобильной зарядной станции публичного доступа, обеспечивающей возможность быстрой зарядки электрического автомобильного транспорта" (Зарегистрирован 01.06.2022 № 68680<sup>1</sup>) можно сделать вывод о типах разъёмов DC зарядных станций, рекомендованных для распространения на территории РФ (табл. 1).

**Таблица 1.** Разъёмы для зарядки постоянным током (DC)

**Table 1.** Connectors for direct current (DC) charging

| Наименование страны      | Европа, Австралия, Южная Америка, Африка, Азия                                                              | Китай                           | Япония                         |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Стандарт                 | CCS Combo 2<br>IEC 62196-3                                                                                  | GB/T<br>GB/T 20234              | CHAdeMO<br>IEC 62196-3         |
| Вариант зарядки          | AC/DC                                                                                                       | AC/DC                           | DC                             |
| Максимальная мощность до | 350 кВт                                                                                                     | 350 кВт                         | 350кВт                         |
| Применение               | Audi E-trone, Porsche Taycan, JAC iEV7s, MB EQC, KIA Niro, Jaguar I-Pace, BMW I3,I7, Tesla Model 3, S, Y, X | BYD Han EV, GAC Aion V, Nio ES8 | Nissan Leaf, Mitsubishi I-MiEV |

Стоит отметить ряд особенностей при использовании различных разъёмов. ЭЗС с разъёмом CCS Combo 2 (IEC 62196-3), которые с 2014 года устанавливаются в Европейском союзе для связи с транспортным требует наличие PLC-модема для коммутации и определения параметров зарядки, что удорожает конструкцию. Данный разъём приоритетным является на территории стран Европейского союза. Из-за санкционного давления европейские производители гибридных и электрических транспортных средств снизили своё присутствие на рынке в Российской Федерации и приоритетность данного разъёма также снизилась.

Разъём GB/T (GB/T 20234) еще недавно считался экзотикой, поскольку электромобили и гибриды из Китая были непопулярны и находились в тени европейских брендов. Однако

<sup>1</sup> "Об утверждении технических характеристик оборудования стационарной автомобильной зарядной станции публичного доступа, обеспечивающей возможность быстрой зарядки электрического автомобильного транспорта": Приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 29.04.2022 № 1776. Зарегистрирован 01.06.2022 № 68680

данный разъём учтён в приказе<sup>1</sup> и широко применяется на ЭЗС. Данный разъём не требует дополнительных устройств для связи автомобиля с ЭЗС, поскольку связь происходит непосредственно по контактам, что делает его наиболее перспективным и доступным для использования. Дополнительно актуальность данного разъёма подчёркивает и статистика увеличения парка гибридных и электрических транспортных средств из Китая, которые оснащены данным разъёмом с завода.

Разъём CHAdeMO (IEC 62196-3) применяется в системе быстрой зарядки гибридных и электрических транспортных средств, которая разработана в 2010 году ассоциацией CHAdeMO, созданной Токийской электроэнергетической компанией и пятью крупнейшими японскими автопроизводителями. Таким образом, основные потребители такого разъёма — транспортные средства, произведенные в Японии, где этот разъём и является самым популярным. Но стоит отметить, что с 2016 г. компания Honda отказалась от использования данного разъёма на транспортных средствах, поставляемых за пределы Японии. Использование протокола передачи данных CHAdeMO является платным — доступ к протоколу оплачивается через членство в клубе CHAdeMO [21] и составляет 4000 евро в год.

В случае, когда на борту мобильной зарядной станции имеется генератор на основе двигателя внутреннего сгорания или электрохимического генератора на водородных топливных элементах, в качестве источника энергии, целесообразно так же применение разъёма для зарядки переменным током. В этом случае наиболее распространённым является разъём Type 2, IEC 62196-2. Вариант комплектации мобильной ЭЗС только генератором и разъёмом переменного тока можно считать довольно бюджетным решением, в связи с отсутствием в составе довольно дорогих блоков силовых преобразователей. Как правило, не очень мощные, бортовые DC-преобразователи для зарядки входят в комплектацию почти всех электромобилей.

При анализе карты размещения ЭЗС на территории Евразии (рис. 13) [22], очевидна низкая плотность установки ЭЗС на территории РФ, в связи с этим передвижение на электромобиле по центральной территории континента довольно затруднительно. Каждая мобильная ЭЗС, по своей сути, имеет определённую область покрытия. При должном уровне автоматизации и разработке программного обеспечения для оперативного вызова мобильной заправочной станции, развитие сетей мобильных зарядных станций может коренным образом изменить эту ситуацию, с неизмеримо меньшими финансовыми затратами, чем при установке одиночных, стационарных ЭЗС, что в свою очередь значительно ускорит развитие электротранспорта и приблизит к целям углеродной нейтральности. Кроме того, при должном уровне кооперации организаций, занимающихся развитием сети мобильных зарядных станций, и энергосетевых организаций возможно значительное снижение нагрузки на генерирующие мощности и сети распределения энергии, что в свою очередь скажется на их ресурсе и надёжности. Использование мобильных зарядных станций возможно и с привязкой к локальным генерирующим электромощностям, что позволит устанавливать такие объекты инфраструктуры в значительном удалении от линий электропередачи, на трассах, что обеспечит увеличение дальности пробега электромобилей.

---

<sup>1</sup> "Об утверждении технических характеристик оборудования стационарной автомобильной зарядной станции публичного доступа, обеспечивающей возможность быстрой зарядки электрического автомобильного транспорта": Приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 29.04.2022 № 1776. Зарегистрирован 01.06.2022 № 68680

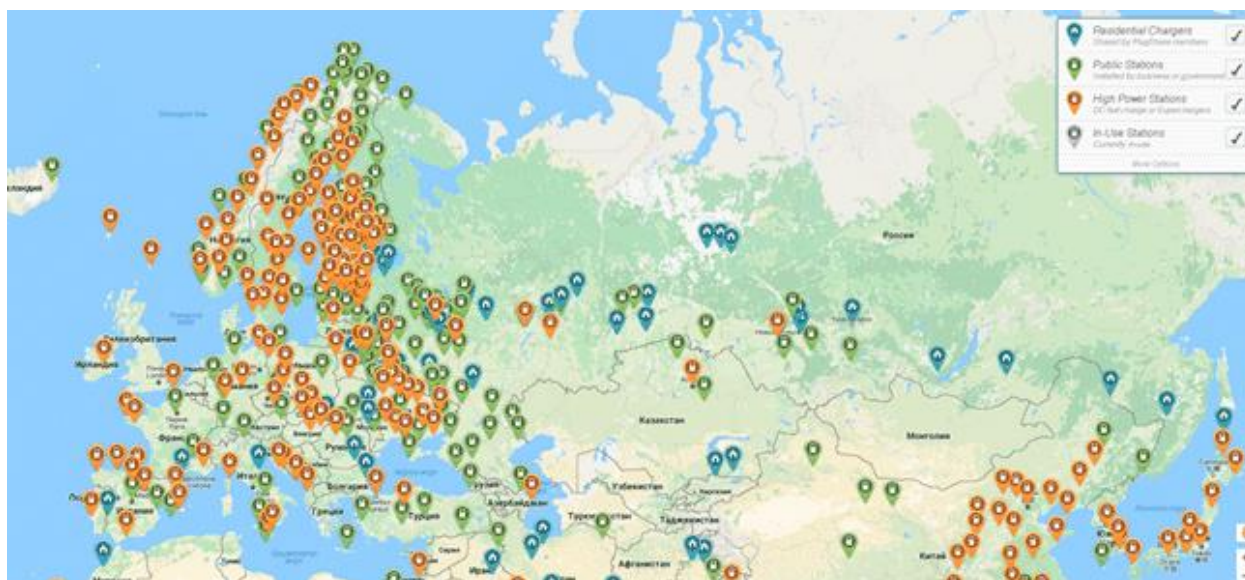


Рис. 13. Карта электрических зарядок на территории Евразии.

Fig. 13. Map of electric charges on the territory of Eurasia.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение накопителей электроэнергии в аграрной промышленности является актуальным направлением, особенно в кооперации с такой технологией, как агровольтаика.

В условия отставания зарядной инфраструктуры от роста парка электромобилей и подзаряжаемых гибридов, а также с целью вторичного использования отработавших батарей ЛИА, применение мобильных зарядных станций может стать одним из направлений развития инфраструктурных решений в тех местах, где дорого и сложно проводить техническое присоединение к электросетям. Роботизированные мобильные зарядные станции в условиях подземного паркинга могут снизить спрос на ограниченное количество мест со стационарными ЭЗС и обеспечат зарядку электромобиля и подзаряжаемого гибрида автономно. А при применении в сельском хозяйстве позволит автономным тракторам с тяговым электроприводом меньше простаивать.

Анализ опыта внедрения таких систем показал свою жизнеспособность и востребованность. Однако отечественные разработки в этом направлении на данный момент отсутствуют.

В силу того, что зарядка от мобильных ЭЗС является в большинстве ситуаций аварийным случаем и время зарядки ограничено, то целесообразно применение разъёма и протоколов быстрой DC зарядки. Плюс ко всему, как уже было указано выше, наличие аккумуляторов в качестве источника постоянного напряжения, накладывает рекомендательный характер на использование для коммутации с электромобилем или трактором разъемов постоянного тока.

При разработке системы эксплуатации мобильных ЭЗС можно радикально сгладить пики потребления электроэнергии в зданиях с подземными парковками, а также быть использовать мобильные ЭЗС в качестве аварийного источника питания, что также является актуальным при формировании современной модели потребления электроэнергии ее и для обеспечения нужд автотранспорта.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** К.Е. Карпухин — общее руководство, постановка целей и задач аналитического исследования; П. Итурралде Бакеро — проведение обзора литературы и статистических данных по соответствию инфраструктуры количеству парка гибридных и электрических транспортных средств в России и мире; Р.В. Зимов — обзор литературы, анализ актуальных типов зарядных разъемов, написание раздела статьи; С.Э. Земцев — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников по мобильным зарядным станциям; А.Ф. Колбасов — формирование концепции исследования, обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, обобщение выводов, написание разделов и редактирование статьи. Все авторы одобрили рукопись (версию для



## НОВЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Этическая экспертиза.** Неприменимо.

**Источники финансирования.** Исследование и публикация осуществлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка гибридной силовой установки для транспортных средств категории М1 (легковые автомобили) на основе отечественных компонентов», код FZRR-2025-0009.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три г., связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contributions:** K.E. Karpukhin: general guidance, setting goals and objectives for analytical research; P. Iturralde Baquero: conducting a review of literature and statistical data on infrastructure compliance with the number of hybrid and electric vehicle fleets in Russia and the world; R.V. Zimov: literature review, analysis of current types of charging connectors, writing a section of the manuscript; S.E. Zemtsev: review literature, collection and analysis of literary sources on mobile charging stations; A.F. Kolbasov: formation of the research concept, literature review, collection and analysis of literary sources, generalization of conclusions, writing manuscript sections and editing the manuscript. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that issues related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

**Ethics approval:** Not applicable.

**Funding sources:** This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the project “Development of a hybrid powertrain for the M1 category vehicles (passenger cars) based on domestic components”, code FZRR-2025-0009.

**Disclosure of interests:** The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

**Statement of originality:** No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

**Data availability statement:** The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work as **no new data was collected or created**.

**Generative AI:** No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

**Provenance and peer review:** This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Gutov NM, Sayapov NS, Bykov SN. Solar panels for agriculture. In: *Actual scientific and technical means and agricultural problems: Proceedings of the XII National Scientific and practical conference with international participation*, Kuzbass State Agrarian University, June 20, 2024. – Kemerovo: Kuzbass State Agrarian University; 2024:161–167. (In Russ.) EDN: IKYEHA

2. Zakirov AY. Solar energy in agriculture. *Trends in the development of science and education*. 2024;(106–11):193–195. doi: 10.18411/trnio-02-2024-640 (In Russ.) EDN: UGNFMY
3. Zozulya MS, Tatarinova OV. The use of photovoltaics in agriculture on the example of the educational economy of the Tikhoretsky Industrial College. *Active, ambitious, intellectual youth for agriculture*. 2023;(2(15)):96–102. (In Russ.) EDN: TYIXHE
4. Monarch company website [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.monarchtractor.com/>
5. ONOX company website [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.onox.de/onox-1>
6. Bender A, Whelan B, Sukkariéh S. A high-resolution, multimodal data set for agricultural robotics: A Ladybird's-eye view of Brassica. *Journal of field robotics, Special issue on agricultural robotics, PART 1*. 2020;37(1):73–96 doi: 10.1002/rob.21877
7. Autostat: sales of electric vehicles in Russia have fallen by 60% since the beginning of 2025 [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.kommersant.ru/doc/7605286> (In Russ.)
8. The number of charging stations for electric vehicles has increased 6-fold in Russia: plans, statistics and prospects [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://atomobility.ru/tpost/1emi3och31-v-rossii-v-6-raz-viroslo-chislo-zaryadni>
9. Khayretdinova AR, Kasatkin II, Kolbasov AF .Model development of the charging infrastructure of Moscow. *Moscow transport. Science and Design*. 2025;(1):14–22. (In Russ.)
10. Terenchenko AS. Euro-7: new environmental requirements for cars, trucks and buses in the European Union. *Automotive Industry*. 2024;(10):10–16. (In Russ.) EDN: OHKLXA
11. Endachev DV, Terenchenko AS, Karpukhin KE, et al. Hybrid Energy Storage on Electric Vehicles. *Advances in Engineering Research and Application*. In: *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, Thai Nguyen, December 01–02, 2023*. Cham: Springer; 2024:27–35. EDN: QILFDK.
12. Nguyen HM, Karpukhin KE, Kolbasov AF, Nguyen HT. The problem of the operation of electric vehicles in difficult climatic conditions. *Trudy NAMI*. 2019;(3(278)):6–13. (In Russ.) EDN: KQNWOB.
13. Startup L-Charge from Russia will launch mobile charging stations in London [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.venture-news.ru/tehnologii/66088-startap-l-charge-iz-rossii-zapustit-v-londone-mobilnye-zaryadnye-stancii.html> (In Russ.)
14. The first mobile charging for electric vehicles appeared on the roads of Birmingham [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <http://carsecology.ru/2014/04/25/na-dorogax-birmingema-poyavilas-pervaya-mobilnaya-zaryadka-dlya-elektromobilej/111/> (In Russ.)
15. Helvetia invests in Charging [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.electrive.com/2019/06/26/helvetia-invests-in-chargery/>
16. Suit-case sized portable EV charger wins Decarbonising Cities award [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://thedriven.io/2022/07/20/portable-ev-charger-wins-shell-decarbonising-cities-award/amp/>
17. Power Exporter e: 6000 and Power Exporter 9000 portable external power output devices [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: [https://global.honda/en/tech/Portable\\_External\\_Power\\_Output\\_Device\\_Power\\_Exporter](https://global.honda/en/tech/Portable_External_Power_Output_Device_Power_Exporter)
18. This Mobile Charging Station Runs On Scrapped Batteries And Comes Right To Your Electric Car [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.fastcompany.com/3049018/this-mobile-charging-station-runs-on-scrapped-batteries-and-comes-right-to-your-electric-car/>
19. EVAR company website [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.evar.co.kr/mobile-ev-charger>
20. Volkswagen and the electric future: robots will charge our car in any parking lot [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.highmotor.com/ru/%D0%B3%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82-Volkswagen.html>
21. Membership [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.chademo.com/membership>
22. Plugshare [internet] Accessed: 05/01/2025. Available from: <https://www.plugshare.com/?area=28620>

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO**

**\* Колбасов Алексей Фёдорович,**  
канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник Передовой  
инженерной школы электротранспорта;  
адрес: Россия, 107023, г. Москва, ул.  
Большая Семеновская, д. 38;  
ORCID: 0000-0001-5259-5059;  
eLibrary SPIN: 1846-1751;  
e-mail: A.F.Kolbasov@mail.ru

Соавторы:

**Карпукхин Кирилл Евгеньевич,**  
канд. техн. наук, доцент,  
главный научный сотрудник Передовой  
инженерной школы электротранспорта;  
ORCID: 0000-0002-6192-7817;  
eLibrary SPIN: 8926-2694;  
kir-karpukhin@mail.ru

**Итурралде Бакеро Пабло Эмилио,**  
старший научный сотрудник Передовой  
инженерной школы электротранспорта;  
ORCID: 0000-0001-7714-5628;  
eLibrary SPIN: 6982-9659,  
e-mail: iturralde.p@gmail.com

**Зимов Роман Владимирович,**  
научный сотрудник Передовой инженерной  
школы электротранспорта;  
ORCID: 0009-0004-2824-4979;  
eLibrary SPIN: 5118-8985;  
e-mail: zimov.edc@gmail.com

**Земцев Семен Эдуардович,**  
старший научный сотрудник Передовой  
инженерной школы электротранспорта;  
ORCID: 0009-0007-6432-0440;  
eLibrary SPIN: 4165-9333;  
e-mail: Sam.zemtsev@gmail.com

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**\* Aleksei F. Kolbasov,**  
Cand. Sci. (Engineering),  
Senior researcher at the Advanced Engineering  
School of Electric Transport;  
address: 38, Bolshaya Semyonovskaya st,  
Moscow, 107023;  
ORCID: 0000-0001-5259-5059;  
eLibrary SPIN: 1846-1751;  
e-mail: A.F.Kolbasov@mail.ru

Co-Authors:

**Kirill E. Karpukhin,**  
Cand. Sci. (Engineering), assistant professor,  
Chief researcher at the Advanced Engineering  
School of Electric Transport;  
ORCID: 0000-0002-6192-7817;  
eLibrary SPIN: 8926-2694;  
kir-karpukhin@mail.ru

**Pablo Emilio Iturralde Baquero,**  
Senior researcher at the Advanced Engineering  
School of Electric Transport;  
ORCID: 0000-0001-7714-5628;  
eLibrary SPIN: 6982-9659,  
e-mail: iturralde.p@gmail.com.

**Roman V. Zimov,**  
Researcher at the Advanced Engineering School  
of Electric Transport;  
ORCID: 0009-0004-2824-4979;  
eLibrary SPIN: 5118-8985;  
e-mail: zimov.edc@gmail.com

**Semen E. Zemtsev,**  
Senior researcher at the Advanced Engineering  
School of Electric Transport;  
ORCID: 0009-0007-6432-0440;  
eLibrary SPIN: 4165-9333;  
e-mail: Sam.zemtsev@gmail.com