

УДК 621.311.1:621.311.61

EDN RKDZLF

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ

У.К. ЮшкевичORCID: 0009-0009-4599-8605 e-mail: uyk567@gmail.comМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)*Москва, Россия***Б.Н. Сидоров**ORCID: 0009-0007-0643-6373 e-mail: nnv033@gmail.comМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)*Москва, Россия***А.Д.М. Аль-Мохаммедави**ORCID: 0000-0003-0583-0559 e-mail: alijber1987@uomisan.edu.iqМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)*Москва, Россия*

Рост числа электромобилей создает новые вызовы для электрических сетей, включая необходимость поддержания качества электрической энергии в сети, перераспределение нагрузки, оптимизацию энергопотребления и интеграцию возобновляемых источников энергии. Приведены современные подходы к динамическому управлению энергопотреблением зарядных станций. Основное внимание уделено использованию интеллектуальных алгоритмов, таких как V1G (однаправленная зарядка) и V2G (возможность выдачи электроэнергии в сеть), а также системам прогнозирования спроса и хранения энергии. Также рассмотрены перспективы применения машинного обучения и искусственного интеллекта в управлении зарядными станциями. Результаты анализа показали, что алгоритмы оптимального управления энергопотреблением зарядных станций позволяют улучшить балансировку сети и снизить затраты на инфраструктуру и выбросы CO₂. Проанализированы актуальные задачи: стандартизация протоколов, согласование интересов операторов и пользователей, а также необходимость модернизации сетей.

Ключевые слова: алгоритмы оптимизации, возобновляемая энергия, динамическое управление энергопотреблением, зарядные станции, интеллектуальная зарядка, прогнозирование спроса, V2G.

Для цитирования: Юшкевич У.К., Сидоров Б.Н., Аль-Мохаммедави А.Д.М. Динамическое управление энергопотреблением электрических зарядных станций: современные подходы и технологии // Интеллектуальная Электротехника. 2025. № 3. С. 117-128. EDN RKDZLF

DYNAMIC ENERGY MANAGEMENT OF ELECTRIC CHARGING STATION: MODERN APPROACHES AND TECHNOLOGIES

U.K. Yushkevich

ORCID: 0009-0009-4599-8605 e-mail: uyk567@gmail.com
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)
Moscow, Russia

B.N. Sidorov

ORCID: 0009-0007-0643-6373 e-mail: nnv033@gmail.com
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)
Moscow, Russia

A.J.M. Al-Mohammedawi

ORCID: 0000-0003-0583-0559 e-mail: alijber1987@uomisan.edu.iq
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)
Moscow, Russia

Abstract. The growth of electric vehicles creates new challenges for electric grids, including the need to maintain power quality in the grid, load redistribution, energy consumption optimization and the integration of renewable energy sources. This paper considers modern approaches to dynamic energy management of charging stations energy consumption. The main focus is on the use of intelligent algorithms, such as V1G (unidirectional charging) and V2G (bidirectional charging), as well as demand forecasting and energy storage systems. The prospects for applying machine learning and artificial intelligence in charging station management are also considered. The results of the analysis show that optimized energy management algorithms can improve grid balancing, minimize infrastructure costs, and reduce CO₂ emissions. Current issues, such as protocol standardization, reconciliation of interests of operators and users, and the need for grid modernization are discussed.

Keywords: optimization algorithms, renewable energy, dynamic energy management, charging stations, smart charging, demand forecasting, V2G.

For citation: U.K. Yushkevich, B.N. Sidorov and A.J.M. Al-Mohammedawi, “Dynamic energy management of electric charging station: modern approaches and technologies”, *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 117-128, 2025. EDN RKDZLF

I. Введение

Транспортный сектор является одним из главных источников выбросов парниковых газов, на который приходится примерно 23 % глобальных выбросов CO_2 [1]. С учетом прогнозируемого увеличения к 2050 г. пассажирских перевозок в два раза, а грузовых – в три, необходимость декарбонизации транспортного сектора становится все более актуальной [2]. В рамках Парижского соглашения страны обязались ограничить глобальное потепление уровнем 1,5-2 °C к 2050 г., что делает электрификацию транспорта одним из приоритетных направлений развития [1]. К 2030 г. доля электромобилей (ЭМ) в России прогнозируется на уровне 10-30 % от автопарка, при этом развитие отечественного производства и инфраструктуры является ключевым фактором роста. В 2020 г. мировой парк ЭМ достиг 10 млн ед. Основные барьеры: ограниченный запас хода, длительная зарядка, недостаточная инфраструктура [3].

В 2020 г. насчитывалось 1,3 млн общественных зарядных станций (ЗС), из них быстрых – 30 %; внедряются высокоомощные решения (150-600 кВт). Интеграция ЭМ в энергосистему вызывает проблемы: неконтролируемая зарядка приводит к пиковым нагрузкам и нестабильности сети. Для их решения применяются интеллектуальные алгоритмы, позволяющие снизить пиковую нагрузку (на 40,8 %) без увеличения времени зарядки [4-7]. Технологический прогресс в области зарядных устройств привел к появлению высокоомощных решений: *Siemens* представил ЗС мощностью 150 кВт, *ABB* – 350 кВт, а *Enercon* – 600 кВт [8]. Интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в инфраструктуру ЗС и использование ЭМ как распределенных накопителей (90...95 % времени на парковке) повышают гибкость энергосистемы; к 2050 г. потенциал хранения оценивается до 14 ТВт·ч [4, 5, 7].

Статья посвящена анализу алгоритмов динамического управления энергопотреблением в сетях зарядных станций электромобилей. Основное внимание уделяется следующим аспектам:

- использование интеллектуальных алгоритмов управления зарядкой для снижения пиковых нагрузок;
- интеграция ВИЭ в инфраструктуру ЗС;
- применение технологий машинного обучения и больших данных для прогнозирования спроса и оптимизации зарядки.

II. Проблемы массового использования электромобилей и расширения применения зарядных станций

Развитие зарядной инфраструктуры сопряжено с техническими, экономическими и производственными проблемами, которые усугубляются с ростом числа ЭМ.

1. *Недостаточное количество ЗС.* Например, в Марокко всего 112 общественных ЗС, большинство из них расположены на автомагистралях.

Между крупными городами недостаточно быстрых ЗС, что приводит к образованию очередей и доставляет неудобства пользователям [2, 7].

2. *Увеличение пиковых нагрузок и снижение стабильности сети.* Одновременная зарядка большого количества ЭМ в часы пик перегружает локальные сети и требует дорогостоящей модернизации [9, 10]. На примере Калифорнии: неконтролируемая зарядка может увеличить пиковую нагрузку на 19 % [11], а при повышении доли ЭМ до 50 % нагрузка достигает 279,3 МВт [4], особенно в вечерние часы (с 16:00 до 20:00), что критично для инфраструктуры.

При этом быстрые ЗС существенно снижают качество электроэнергетики в сети общего пользования [5], а именно:

- значительно увеличивают колебания напряжения (быстрые ЗС создают значительную и быстро меняющуюся нагрузку на сеть, что приводит к увеличению амплитуды и частоты колебаний напряжения);
- генерируют гармонические искажения в распределительных сетях [1].

Подобное воздействие негативно влияет на работу трансформаторов, релейных устройств и счетчиков [5, 8].

3. *Недостаточная интеграция ВИЭ.* Несмотря на рост доли ВИЭ в энергосистемах, их использование ограничено из-за нестабильности генерации. Процесс интеллектуального заряда ЭМ с учетом работы ВИЭ может способствовать сглаживанию колебаний, адаптируя графики зарядки к пиковым периодам генерации солнечной и ветровой энергии [2].

4. *Ограничения существующих алгоритмов управления зарядом.*

Традиционные подходы к управлению зарядом ЭМ часто не учитывают временные и пространственные аспекты спроса, а также поведение пользователей, что приводит к неэффективному использованию ресурсов и увеличению затрат [11].

5. *Высокие инвестиционные затраты.*

Высокие инвестиционные затраты связаны с общей стоимостью владения (*TCO – Total Cost of Ownership*) ЗС, которая в пять раз превышает стоимость традиционных заправочных станций. Это включает: затраты на оборудование, расходы на установку, стоимость подключения к сети, эксплуатационные расходы.

Для поддержки растущего числа ЗС требуются значительные инвестиции в модернизацию электрических сетей. По оценкам экспертов, затраты на модернизацию сети могут составлять до 10 % от общих инвестиций в инфраструктуру [1].

6. *Отсутствие единых стандартов на ЗС.* Оно создает проблемы совместимости между различными типами ЗС и ЭМ. Существуют различные стандарты (*Type 2, CHAdeMO, CCS*), что усложняет процесс зарядки и увеличивает затраты на инфраструктуру [5].

III. Перспективные направления

для обеспечения бесперебойной работы зарядных станций

Для обеспечения бесперебойной работы ЗС необходимо решить ряд следующих задач.

1. Интеграция сети с ВИЭ.

Интеграция ЗС с ВИЭ (например, солнечными и ветровыми электростанциями) снижает пиковые нагрузки и выбросы CO_2 , но требует инвестиций. В Канаде интеграция ВИЭ снизила пиковую нагрузку на 18,7 % и затраты на 25 %; в Марокко солнечные панели, установленные вдоль трассы, снизили нагрузку на электрические сети с 167,5 до 136,1 МВт [1, 2, 6, 9, 11, 12].

Интеграция ВИЭ – это актуальное и востребованное направление для большинства регионов России, особенно для удаленных северных и южных территорий. Они способствуют повышению энергетической независимости, улучшению экологической ситуации и развитию локальной экономики. Несмотря на существующие вызовы, государственная поддержка, технологические инновации и успешные региональные проекты подтверждают высокий потенциал и значимость этого направления для устойчивого развития российских регионов. К 2035 г. ожидается, что суммарная мощность ВИЭ в России превысит 12 ГВт, что свидетельствует о долгосрочной востребованности направления. Развитие отечественных технологий и локализация производства оборудования делают ВИЭ более доступными для регионов.

2. Использование систем накопления энергии.

Для сглаживания нестабильности ВИЭ используются системы накопления энергии, чаще всего литий-ионные аккумуляторы с КПД до 80 % и емкостью до 480 ГВт·ч [5, 6, 7, 9, 12]. Можно привести следующие примеры успешного использования системы накопления энергии.

А. Проект в Рабате. Зарядная станция с солнечной электростанцией мощностью 14 кВт и аккумулятором емкостью 20 кВт·ч. Среднее потребление за сеанс, т.е. за один цикл зарядки ЭМ на зарядной станции, составило 12 кВт·ч (что позволяет обеспечить 60 км пробега) [2].

В. Проект *Parker* в Дании. Продемонстрировано применение $V2G$ для поддержки энергосистемы – снижение пиковых нагрузок на 7 % и увеличение доли ветровой энергии [13].

Таким образом, сочетание солнечных и ветровых электростанций с системой накопления энергии может значительно повысить надежность и эффективность зарядной инфраструктуры.

3. Внедрение алгоритмов оптимизации энергопотребления.

Оптимизация энергопотребления с помощью специальных алгоритмов позволяет снизить пиковые нагрузки, интегрировать ВИЭ и минимизировать затраты [2, 6, 14].

Особенностью алгоритмов оптимизации является то, что они:

– обеспечивают координацию заряда с периодами максимальной генерации ВИЭ;

– учитывают состояние сети и поведение пользователей;

– прогнозируют поведение пользователей в зависимости от различных факторов, например, погоды, в ремни суток, времени года и т.п.

Примеры применения алгоритмов оптимизации следующие.

А. Динамическая оптимизация заряда. Динамические алгоритмы, например, *PoN*, позволяют снизить пиковую нагрузку на 40,8 % без увеличения времени зарядки. Это особенно актуально при ограниченной мощности подстанций [6].

В. «Умные» системы управления зарядом (*V1G* и *V2G*). *V1G* управляет временем заряда, смещая его на периоды низкой нагрузки (в Калифорнии это позволило снизить пиковую нагрузку на 11 %). *V2G* позволяет возвращать энергию в сеть, что помогает сбалансировать нагрузку (в Дании это позволило снизить пиковую нагрузку на 7 %) [10].

4. Внедрение алгоритмов машинного обучения.

Машинное обучение применяется для прогнозирования спроса и оптимизации процесса заряда. Алгоритмы *LSTM* предсказывают пиковые нагрузки с точностью до 95 % [6, 7], анализируя историю потребления, погоду и поведение пользователей. Анализ 2835 сеансов в Марокко показал, что 95 % ЗС потребляют менее 25 кВт·ч (60 км пробега [5]). Алгоритмы оптимизации позволяют перенести процессы заряда ЭМ на ночное время и снизить пиковые нагрузки в вечерние часы.

В табл. 1 представлен сравнительный анализ алгоритмов управления зарядкой ЭМ.

Таблица 1.
Сравнительный анализ алгоритмов управления зарядкой ЭМ

Table 1.
Comparative analysis of EV charging control algorithms

Алгоритм	Суть алгоритма	Достоинства	Недостатки
<i>V1G</i>	Управление временем зарядки (только в одну сторону: от сети к аккумулятору)	Снижает нагрузку на сеть, простота внедрения	Отсутствует возможность выдачи энергии обратно в сеть
<i>V2G</i>	Двунаправленная зарядка (может отдавать энергию обратно в сеть)	Помогает сбалансировать сеть, позволяет получать доход	Требует дорогостоящего оборудования, снижается ресурс аккумулятора
<i>PoN</i>	Зарядка по мере необходимости (динамическое распределение мощности)	Максимально снижает пиковые нагрузки, гибко реагирует на ситуацию	Сложная реализация, требуются данные в реальном времени

Алгоритмы оптимизации реализуются с помощью интеллектуальных ЗС.

IV. Интеллектуальные зарядные станции и их архитектура

Интеллектуальные зарядные станции (ИЗС) – ключевой элемент инфраструктуры, позволяющий оптимизировать зарядку ЭМ с учетом состояния сети, ВИЭ и предпочтений пользователей.

Архитектура ИЗС включает следующие составляющие.

1. Основные компоненты.

ИЗС состоят из нескольких ключевых компонентов, которые обеспечивают их функциональность и эффективность:

- зарядные порты ИЗС поддерживают одно- и двунаправленную зарядку ($V1G$ и $V2G$), что позволяет не только заряжать ЭМ, но и возвращать энергию в сеть для балансировки нагрузки и повышения надежности [14];

- системы управления ИЗС построены по трехуровневой иерархии: верхний уровень – оптимизация расписания зарядки, средний – распределение мощности, нижний – управление отдельными портами, такая архитектура обеспечивает эффективное управление зарядкой ЭМ с учетом потребностей пользователей и состояния сети [1, 14];

- системы накопления энергии, такие как литий-ионные аккумуляторы, позволяют ИЗС накапливать энергию от ВИЭ и сглаживать колебания потребления и выработки [2, 14].

2. Модульная и масштабируемая архитектура.

Современные ИЗС проектируются с учетом модульности, что позволяет добавлять или удалять компоненты в зависимости от потребностей. Например, ЗС могут быть оснащены несколькими силовыми электронными преобразователями для обеспечения высокой мощности зарядки. Это не только увеличивает гибкость, но и снижает капитальные затраты на установку и обслуживание [3, 15]. ИЗС требуют использования все более совершенных протоколов связи. Для их эффективной работы необходимо использовать различные протоколы связи, которые позволяют обеспечить взаимодействие между различными системами и компонентами:

- *OCPP (Open Charge Point Protocol)*: обеспечивает связь между ЗС и системами управления, позволяя операторам управлять зарядкой, обработкой транзакций и мониторингом состояния зарядных устройств [1, 14, 16];

- *OCPI (Open Charge Point Interface)*: обеспечивает связь между поставщиками услуг мобильности и операторами ЗС, позволяя легко обмениваться информацией о зарядных точках и авторизации пользовательских операций [5, 13, 16];

- *OpenADR (Open Automated Demand Response)*: позволяет передавать сигналы о спросе на электроэнергию от коммунальных служб к пользователям ЗС, что дает возможность управлять нагрузкой и оптимизировать

использование ресурсов [6, 14, 16].

ИЗС не только обеспечивают зарядку, но и предлагают ряд интеллектуальных функций, таких как оптимизация процесса заряда. Используя описанные выше алгоритмы, ИЗС могут координировать зарядку, снижая пиковую нагрузку на сеть без увеличения общего времени заряда [1].

Дальнейшее развитие ИЗС требует внедрения современных протоколов и стандартов (например, *ISO 15118*) для обеспечения совместимости и интеграции различных систем [6]. Важна интеграция с системами *V2G* и *V2H*, чтобы ЭМ могли не только заряжаться, но и отдавать энергию в сеть, повышая устойчивость энергосистемы [11, 14].

Использование искусственного интеллекта и анализа больших данных позволит оптимизировать процессы зарядки и управления нагрузкой, включая прогнозирование спроса и адаптацию расписаний в режиме реального времени [1].

V. Оптимизация времени использования зарядных станций

Поведение пользователей влияет на эффективность зарядной инфраструктуры. Анализ моделей зарядки и внедрение стимулов позволяют оптимизировать нагрузку на сеть.

Паттерны времени использования ЗС следующие.

1. Временные характеристики зарядки.

На основе анализа данных о зарядке ЭМ можно выделить несколько ключевых паттернов. В среднем, 70 % зарядных сессий приходится на рабочие дни, пик активности – вечером, средняя продолжительность сессии сеанса зарядки составляет около 48 минут (12 кВт·ч, ~ 60 км) [1, 4].

2. Энергопотребление и предпочтения.

Более 95 % сеансов зарядки потребляют менее 25 кВт·ч, что говорит о том, что большинство пользователей заряжают ЭМ для коротких поездок [5]. Пользователи обращают внимание на стоимость и выбирают время зарядки в периоды низких тарифов, что подтверждает важность тарифных планов для стимулирования зарядки в непиковые часы [2, 4].

Факторы, влияющие на поведение пользователей, следующие.

1. *Местоположение ЗС.* Оно существенно влияет на поведение пользователей. В торговых центрах зарядка длится дольше из-за совмещения с покупками. На рабочих местах зарядки распределяются равномерно в течение дня. [4, 6]. Быстрые ЗС на основных маршрутах упрощают планирование дальних поездок и делают ЭМ более привлекательными.

2. *Тарифные планы и стимулы.* Они заметно влияют на поведение пользователей. Снижение стоимости зарядки в непиковые часы может привести к смещению графика зарядки на 30 %; например, скидка 10 % в ночное время увеличивает количество зарядок в это время. В США тарифы *Time-of-Use* снизили вечерние пиковые нагрузки на 20 %. Программа BMW

ChargeForward показала, что финансовые стимулы мотивируют пользователей менять привычки, связанные с зарядкой [5, 6, 10].

3. *Удобство пользования.* Применение методов геоинформационного анализа (GIS) позволяет эффективно планировать расположение станций с учетом доступности ВИЭ. Исследования показывают, что правильное размещение может существенно увеличить использование зарядных устройств, что, в свою очередь, поможет снизить нагрузку на электрические сети [6, 8].

4. *Учет предпочтений пользователей.* Например, целесообразно регулировать степень и время заряда батарей в зависимости от личных предпочтений для предложения наиболее подходящих времени и места для заряда [2].

5. *Немонетарные стимулы.* Они могут также способствовать изменению поведения пользователей. К таковым, например, можно отнести бонусы за частое использование ЗС [2].

VI. Заключение

Зарядные станции играют важную роль в оптимизации энергопотребления и снижении нагрузки на сеть. Проведенное исследование подчеркивает ключевую роль зарядной инфраструктуры для ЭМ в трансформации энергетики и транспорта. Быстрое увеличение числа ЭМ создает как возможности, так и вызовы, связанные с управлением энергопотреблением, интеграцией ВИЭ и минимизацией воздействия на электрические сети.

Интеллектуальные алгоритмы управления энергопотреблением ЗС позволяют снизить пиковую нагрузку без увеличения времени зарядки. Интеграция ВИЭ (солнечной и ветровой энергии) также позволяет повысить эффективность зарядной инфраструктуры и снизить пиковые нагрузки. Анализ сеансов зарядки показывает, что 95 % зарядок потребляют менее 25 кВт·ч, что важно учитывать при проектировании инфраструктуры и тарификации. Технологии *V2G* позволяют выдавать энергию в сеть, снижая пиковые нагрузки и повышая стабильность энергосистемы [13].

Результаты анализа подчеркивают необходимость стратегического планирования при размещении ЗС.

© Юшкевич У.К., 2025

© Сидоров Б.Н., 2025

© Аль-Мохаммедави А.Д.М., 2025

Поступила в редакцию 11.07.2025

Принята к публикации 22.07.2025

Received 11.07.2025

Accepted 22.07.2025

Библиографический список

- [1] Aoun A., Adda M., Ilinca A., Ghandour M., Ibrahim H. Dynamic charging optimization algorithm for electric vehicles to mitigate grid power peaks // *World Electr. Veh. J.* 2024. Vol. 15. 324. DOI: 10.3390/wevj15070324.
- [2] Erdemir D., Dincer I. Novel energy management options for charging stations of electric vehicles in buildings without increasing peak demand for sustainable cities // *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 111. 105552. DOI: 10.1016/j.scs.2024.105552.
- [3] Перспективы электромобильного транспорта // Аналитическое агентство «АВТОСТАТ». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/> (дата обращения 25.05.2025).
- [4] Erdemir D., Dincer I. Development of solar-driven charging station integrated with hydrogen as an energy storage option // *Energy Conversion and Management*. 2022. Vol. 257. 115436. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115436.
- [5] Hovet S., Farley B., Perry J., Kirsche K., Jerue M., Tse Z.T.H. Introduction of electric vehicle charging stations to university campuses: a case study for the University of Georgia from 2014 to 2017 // *Batteries*. 2018. Vol. 4(2). 27. DOI: 10.3390/batteries4020027.
- [6] IRENA. Electric-Vehicle Smart Charging. Innovation Landscape Brief. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. Available online: www.irena.org/publications.
- [7] Юшкевич У.К., Сидоров Б.Н., Малькова Е.В. Исследование алгоритмов динамического управления энергопотреблением в сети зарядных станций // *Интернаука*. 2024. № 11-2(328). С. 39-41.
- [8] Qiu K., Ribberink H., Entchev E. Reducing the impact of dynamic wireless charging of electric vehicles on the grid through renewable power integration // *DeCarbon*. 2025. Vol. 7. DOI: 10.1016/j.decarb.2024.100092
- [9] Мубитанг А., Юшкевич У.К. Технико-экономический расчет методом лепестковых диаграмм для солнечных панелей // *Студенческий вестник*. 2022. № 28-3(220). С. 64-70.
- [10] Zheng A., Yan X. The location problem of EV charging stations: Research trends, critical gaps, and a future agenda. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/363698105>.
- [11] Rochd A., Laamim M., Benazzouz A., Kissaoui M., Raihani A., Sund H.J. Public charging infrastructure for EVs: A comprehensive analysis of charging patterns & real-world insights – Case study of Rabat City, Morocco // *Energy Reports*. 2023. Vol. 9. P. 216–234. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.05.259.
- [12] Ютт В.Е., Сидоров К.М., Грищенко А.Г., Оспанбеков Б.К., Куковинец О.В., Сидоров Б.Н., Севастьянова Т.В., Феофанов С.А., Строганов В.И. Результаты практической реализации систем преобразования электроэнергии для автономных электрических станций. М.: МАДИ, 2023. – 316 с.
- [13] Spencer S.I., Fu Z., Apostolaki-Iosifidou E., Lipman T.E. Evaluating smart charging strategies using real-world data from optimized plugin electric vehicles // *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*. Vol. 100. 103023. 2021. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103023
- [14] Аль-Мохаммедави А.Д.М., Юшкевич У.К. Сравнительный анализ односторонних и двусторонних зарядных станций для электромобилей: инфраструктура,

проблемы и возможности // Международный технический журнал. 2024. № 3 (90). С. 16–31.

- [15] Мубитанг А., Юшкевич У.К., Куковинец О.В., Аббасов Э.М. Моделирование повышающего преобразователя напряжения с чередованием электротранспортного назначения // Оригинальные исследования. 2022. Т. 12. № 7. С. 150-159.
- [16] Сидоров Б.Н., Аль-Мохаммедави А.Д.М. Моделирование в Matlab процесса заряда аккумулятора электромобиля от сети и выдачи мощности в сеть (работа в режиме G2V и V2G) // Интеллектуальная Электротехника. 2025. № 2. С. 93-111.

References

- [1] A. Aoun, M. Adda, A. Ilinca, M. Ghandour and H. Ibrahim, “Dynamic charging optimization algorithm for electric vehicles to mitigate grid power peaks”, *World Electr. J. Veh.*, vol. 15, pp. 324, 2024. DOI: 10.3390/wevj15070324
- [2] D. Erdemir and I. Dincer, “Novel energy management options for charging stations of electric vehicles in buildings without increasing peak demand for sustainable cities”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 111, 2024. DOI: 10.1016/j.scs.2024.105552
- [3] Prospects of electric vehicles, Analytical agency «AUTOSTAT». [Online]. Available at: <https://www.autostat.ru/> [Accessed: May, 25, 2025].
- [4] D. Erdemir and I. Dincer, “Development of solar-driven charging station integrated with hydrogen as an energy storage option”, *Energy Conversion and Management*, vol. 257, 2022. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.115436
- [5] S. Hovet, B. Farley, J. Perry, K. Kirsche, M. Jerue and Z.T.H. Tse, “Introduction of electric vehicle charging stations to university campuses: a case study for the University of Georgia from 2014 to 2017”, *Batteries*, vol. 4(2), 2018. DOI: 10.3390/batteries4020027
- [6] IRENA. Electric-Vehicle Smart Charging. Innovation Landscape Brief. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. [Online]. 2019. ISBN 978-92-9260-141-6. Available at: www.irena.org/publications
- [7] U.K. Yushkevich, B.N. Sidorov and E.V. Malkova, “Research of algorithms for dynamic energy consumption management in a network of charging stations”, *Inter-nauka*, no. 11-2(328), pp. 39-4, 2024.
- [8] K. Qiu, H. Ribberink and E. Entchev, “Reducing the impact of dynamic wireless charging of electric vehicles on the grid through renewable power integration”, *De-Carbon*, vol. 7, 2025. DOI: 10.1016/j.decarb.2024.100092
- [9] A. Mubitang and U. K. Yushkevich, “Technical and economic calculation using petal diagrams for solar panels”, *Student Bulletin*, no. 28-3(220), pp. 64-70, 2022.
- [10] A. Zheng and X. Yan, “The location problem of EV charging stations: research trends, critical gaps, and a future agenda”. [Online]. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/363698105>
- [11] A. Rochd, M. Laamim, A. Benazzouz, M. Kissaoui, A. Raihani and H.J. Sund, “Public charging infrastructure for EVs: A comprehensive analysis of charging patterns & real-world insights – Case study of Rabat City, Morocco”, *Energy Reports*, vol. 9, pp. 216–234, 2023. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.05.259
- [12] V.E. Yutt, K.M. Sidorov and A.G. Grishchenko, B.K. Ospanbekov, O.V. Kukovinets, B.N. Sidorov, T.V. Sevastyanova, S.A. Feofanov and V.I. Stroganov, *Results of the practical implementation of power conversion systems for autonomous power plants*, Moscow: MADI, 2023.

- [13] S.I. Spencer, Z. Fu, E. Apostolaki-Iosifidou and T.E. Lipman, "Evaluating smart charging strategies using real-world data from optimized plugin electric vehicles", *Transportation Research. Part D: Transport and Environment*, vol. 100, 103023, Nov. 2021. DOI: 10.1016/j.trd.2021.103023
- [14] Al-Mohammedawi Ali Jber Mshkil and U. K. Yushkevich, "Comparative analysis of unilateral and bilateral electric vehicle charging stations: infrastructure, challenges, and opportunities", *International Technical Journal*, no. 3 (90), pp. 16–31, 2024.
- [15] A. Mubitang, U. K. Yushkevich, O. V. Kukovinets and E. M. Abbasov, "Modeling of a step-up voltage converter with alternating current for electric vehicles", *Original Research*, vol. 12, no. 7, pp. 150-159, 2022.
- [16] B.N. Sidorov and Al-Mohammedawi Ali Jber Mshkil, "Matlab simulation of battery charging from the grid and discharging to the grid (G2V and V2G operation)", *Smart Electrical Engineering*, no. 2, pp. 93-111, 2025.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юшкевич Устинья Кирилловна, аспирант Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Российская Федерация.

Ustinya K. Yushkevich, postgraduate student of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation.

Сидоров Борис Николаевич, доктор технических наук, профессор Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Российская Федерация.

Boris N. Sidorov, D. Sci. (Eng.), professor of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation.

Аль-Мохаммедави Али Джбер Мшkil, аспирант Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Российская Федерация.

Ali Jber Mshkil Al-Mohammedawi, postgraduate student of the Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russian Federation.