



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Солуянов Ю.И.¹, Федотов А.И.², Ахметшин А.Р.², Федотов Е.А.², Халтурин В.А.³

¹ООО «Ассоциация РЭМ», г. Казань, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

³АО «ТАТЭМ», г. Казань, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>, ahmetshin.ar@mail.ru

Резюме: АКТУАЛЬНОСТЬ исследования заключается в совершенствовании нормативной базы, регламентирующей порядок определения расчетной нагрузки общественных зданий при интеграции в электроустановки указанных зданий зарядной инфраструктуры для электромобилей. ЦЕЛЬ. Определение графика потребления электроэнергии, коэффициента одновременности и несовпадения максимумов зарядной инфраструктуры для электромобилей с последующей разработкой предложений по актуализации СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» в части методики определения расчетной нагрузки общественных зданий при интеграции в электроустановки указанных зданий зарядной инфраструктуры для электромобилей. МЕТОДЫ. При выполнении поставленной цели были использованы экспериментальные, математические и статистические методы. РЕЗУЛЬТАТЫ. Разработана методика определения коэффициентов одновременности и несовпадения максимумов зарядных станций электромобилей, и получены их численные значения в зависимости от типа, мощности и сочетания одновременно работающих коннекторов зарядных станций. Разработаны предложения по внесению изменений к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» в части методики определения расчетных электрических нагрузок зарядной инфраструктуры для электромобилей, интегрированной в электрические установки общественных зданий. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработка методики расчета электрических нагрузок одновременно с разработкой коэффициентов спроса, одновременности и коэффициента несовпадения максимумов зарядной инфраструктуры для электромобилей, интегрированной в общественные здания, будет способствовать оптимизации затрат на технологическое присоединение к электрическим сетям.

Ключевые слова: зарядная станция; электромобиль; электрические нагрузки; коэффициент одновременности; коэффициент несовпадения максимумов; коэффициент спроса; график нагрузки.

Благодарности: Работа выполнена по договору № 32413301943 – 2/2024 от 03.04.2024 г. с федеральным автономным учреждением «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по исследованию энергопотребления и определению расчетных электрических нагрузок зарядной инфраструктуры для электромобилей, интегрированной в электрические установки общественных и многофункциональных зданий.

Для цитирования: Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Федотов Е.А., Халтурин В.А. Определение расчетных электрических нагрузок зарядной инфраструктуры для электромобилей, интегрированной в электрические установки жилых и общественных зданий // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т. 26. № 6. С. 94-107. doi: 10.30724/1998-9903-2024-26-6-94-107.

DETERMINATION OF ESTIMATED ELECTRICAL LOADS OF CHARGING INFRASTRUCTURE FOR ELECTRIC VEHICLES INTEGRATED INTO ELECTRICAL INSTALLATIONS OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

Soluyanov Yu.I.¹, Fedotov A.I.², Akhmetshin A.R.², Fedotov E.A.², Khalturin V.A.³

¹LLC "Association REM", Kazan, Russia

²Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

³JSC "TATEM", Kazan, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>, ahmetshin.ar@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE.* The research aims to improve the regulatory framework governing the procedure for determining the estimated load of public buildings when integrating charging infrastructure for electric vehicles into the electrical installations of these buildings. *THE PURPOSE.* Determination of the schedule of electricity consumption, the coefficient of simultaneity and non-coincidence of maximums of the charging infrastructure for electric vehicles, with subsequent development of proposals for updating SP 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules" in terms of the methodology for determining the estimated load of public buildings when integrating charging infrastructure for electric vehicles into the electrical installations of the said buildings. *METHODS.* In achieving this goal, experimental, mathematical and statistical methods were used. *RESULTS.* A methodology for determining the coefficients of simultaneity and non-coincidence of maximums of electric vehicle charging stations has been developed, and their numerical values have been obtained depending on the type, power, and combination of simultaneously operating charging station connectors. Proposals have been developed for amending SP 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules" in terms of the methodology for determining the estimated electrical loads of the charging infrastructure for electric vehicles integrated into electrical installations of public buildings. *CONCLUSION.* The development of a methodology for calculating electrical loads simultaneously with the development of demand factors, simultaneity and the coefficient of mismatch of maximums of charging infrastructure for electric vehicles integrated into public buildings will contribute to the optimization of costs for technological connection to electrical networks.

Keywords: charging station; electric vehicle; electrical loads; simultaneity factor; peak-to-peak mismatch factor; demand factor; load schedule.

Acknowledgments: The work, based on the results of which the article was prepared, was carried out under contract No. 32413301943 - 2/2024 dated 03.04.2024 with the federal autonomous institution "Federal Center for Normation, Standardization and Technical Assessment of Conformity in Construction" as part of research and development work on the study of energy consumption and determination of the calculated electrical loads of the charging infrastructure for electric vehicles integrated into electrical installations of public and multifunctional buildings.

For citation: Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Fedotov E.A., Khalturin V.A. Determination of estimated electrical loads of charging infrastructure for electric vehicles integrated into electrical installations of residential and public buildings. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2024; 26 (6): 94-107. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-6-94-107.

Введение (Introduction)

Электротранспорт используется во многих странах мира. В ближайшие годы его развитие будет только усиливаться [1-3]. Благодаря новым стратегиям крупнейших автопроизводителей и решениям правительств по ужесточению выбросов вредных веществ автомобилями (АМ) и поддержке транспорта на альтернативных видах топлива (в рамках различных мер стимулирования) рынок электромобилей (ЭМ) и топливных элементов динамично развивается и имеет потенциал дальнейшего роста [4-7]. Главными преимуществами ЭМ являются отсутствие выхлопных газов, низкие эксплуатационные расходы, высокая эффективность двигателя, рекуперативное использование энергии при торможении [8-14]. Основными причинами развития и

популяризации мирового рынка ЭМ стали развитие технического прогресса, электроники, химической промышленности, растущий интерес к альтернативным источникам энергии, а также масштабная борьба с загрязнением окружающей среды и глобальным потеплением [15-20]. Развитие новых технологий привело к устойчивому росту продаж ЭМ. Эксперты прогнозируют, что к 2030 году продажи ЭМ вырастут до 27 миллионов единиц.

Развитие зарядной инфраструктуры для ЭМ в мире идет быстрыми темпами, и это обусловлено несколькими ключевыми факторами: растущая популярность ЭМ; государственные инициативы [15].

Распоряжением Правительства Российской Федерации (РФ) от 23 августа 2021 г. № 2290-р принята «Концепция развития производства и использования электрического АМ транспорта в РФ до 2030 года» (Концепция), в соответствии с которой определены целевые индикаторы производства электрического АМ транспорта и развития электрической зарядной инфраструктуры в РФ до 2030 года [14].

Несмотря на ряд мер по развитию инфраструктуры зарядных станций (ЗС) для ЭМ в РФ, их дальнейшее распространение сталкивается с определенными трудностями.

Одной из проблем, которая влияет на распределение ЗС для ЭМ, является риск увеличения нагрузки на электрические сети [21-23]. И в этом контексте проводимая научная работа становится актуальной, так как, как показывает практика, существует проблема несоответствия расчетных электрических нагрузок при проектировании и их фактических значений при эксплуатации объектов [22-24]. Необходимость проведения научно-исследовательской работы (НИР) связана с выявлением пробелов в отечественной нормативной базе, отсутствием в нормативных документах методик определения расчетных нагрузок ЗС для ЭМ, интегрированных в инфраструктуру общественных зданий [24, 25], таких как здания дошкольных образовательных учреждений (ДОУ), среднеобразовательных школ (СОШ), многопрофильных лечебно-профилактических учреждений (МЛПУ) и физкультурно-оздоровительных комплексов (ФОК). Областью применения результатов является актуализированный СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (СП), нормативные требования которого будут использоваться проектными и строительными организациями, выполняющими расчеты по выбору ЗС и электрических сетей, обеспечивающих электроснабжение общественных зданий.

Литературный обзор (Literature Review)

В статье [1] подробно рассматривается история развития электропитания для транспортных средств в России с акцентом на состояние их производства в наши дни. Основные целевые показатели развития сети ЗС на территории России, а также анализ текущей доли отечественной продукции на внутреннем рынке приведены в работе [9].

ЗС играют ключевую роль в развитии электротранспорта в странах с уже развитой дорожной инфраструктурой [17]. Сопоставление уже накопленного опыта развития электротранспорта, представленного в зарубежной научной литературе, с современными мерами государственной поддержки с обобщением обязательных показателей развития электротранспорта приведены в работе [15].

В 2022 году в рамках Концепции реализованы проекты по созданию зарядной инфраструктуры в Москве и Санкт-Петербурге, Краснодарском и Красноярском краях, Республике Крым и городе Севастополе, Ленинградской, Московской, Нижегородской, Сахалинской областях, Республике Татарстан и других регионах. В 2023 году начато строительство ЗС во Владимирской, Воронежской, Калининградской, Липецкой, Ростовской, Тульской областях, в Приморском и Ставропольском краях, Чувашской Республике [14].

По мере увеличения проникновения ЭМ ожидается, что ЗС окажут значительное влияние на распределительные электрические сети (РЭС) [3]. В статье [3] в качестве примера показано, что станция для ЭМ может затмить спрос на электроэнергию общественного здания, увеличивая ежемесячный пиковый спрос на электроэнергию на стоянке более чем на 250%.

В статье [13] представлено целостное понимание проблем, подходов к смягчению последствий, связанных с развертыванием сети ЗС. Кроме того, освещаются стратегии оптимизации, такие как планирование местоположения, интеграция сети, планирование времени зарядки и планирование цены, которые предполагают максимальное использование ЗС и минимизацию связанных с этим затрат, а также методы их моделирования.

Для оценки влияния домашних ЗС на отклонение напряжения была разработана стохастическая квазидинамическая модель электрической сети на языке программирования Python. Данная модель позволяет моделировать суточные профили электропотребления и напряжения при различном количестве и точках подключения домашних ЗС с учетом случайного характера поведения владельцев ЭМ [10].

Результаты моделирования спроса ЗС, расположенной на парковке жилого комплекса, показывают, что предлагаемый алгоритм оптимального времени начала зарядки не только удовлетворяет спрос владельцев ЭМ на зарядку, но также значительно снижает пиковые нагрузки и провалы графика нагрузки, смягчая влияние зарядки ЭМ на РЭС [19].

Следовательно, кривые спроса служат основой для стратегического планирования РЭС с учетом будущего развития инфраструктуры ЗС [4].

В статье [2] предложен подход к анализу спроса на электроэнергию, необходимую для ЗС. Основой подхода являются социологические данные о владельцах ЭМ и графике использования ими ЭМ. Цель исследований – получить обоснованную оценку нагрузки на электрическую сеть, создаваемую ЭМ. Подход применен к условиям г. Ланьчжоу (Китай).

На основании результатов имитационного моделирования выполнена оценка потребности ввода новых ЗС в городе Кемерово на период до 2028 года. Приведена оценка дополнительной электрической нагрузки на городскую электрическую сеть со стороны ЗС [12].

Проблема размещения ЗС неизбежна и может быть дорогостоящей, если она будет сделана неправильно. Однако большая часть роста ЭМ в ближайшие десятилетия будет происходить в городских районах, где дальность поездки не является самой большой проблемой [6]. Эффективное размещение ЗС имеет важное значение для быстрого развития ЭМ, поскольку это необходимо для обеспечения удобства владельцев ЭМ и обеспечения эффективности дорожной сети. [8].

ЗС должны быть не только в достаточном количестве распространенными, чтобы владелец ЭМ в любом месте мог легко получить доступ к ЗС в пределах своего диапазона движения, но и широко распространенными, чтобы ЭМ могли курсировать по всему городу для подзарядки, эта задача является недетерминированной и полиномиально сложной [16].

Необходимо обеспечить равномерное распределение ЗС, чтобы уменьшить опасения владельцев ЭМ и обеспечить всем жителям равный доступ к зарядной инфраструктуре [18], для чего была разработана методика определения оптимальных мест для ЗС ЭМ на примере г. Гливице в Польше.

В настоящее время также ведутся работы по расширению применения электротранспорта за пределы больших городов и населенных пунктов посредством использования подстанций малой мощности 110/0,4 кВ как элемента электроснабжения зарядной инфраструктуры [11].

В статье [5] обсуждаются преимущества и недостатки мобильных ЗС, которые могут сыграть заметную роль в ускорении распространения ЭМ в России, предоставляя услуги зарядки без ограничений по месту.

Реализация возможных интеллектуальных сценариев управления, включая динамическую балансировку нагрузки между портами ЗС, осуществляется посредством коммуникационного протокола OCPP версии 1.6 с поддержкой функционала Smart Charging, позволяющего снизить нагрузку на распределительную сеть [7]. С увеличением числа ЭМ в домах возникает необходимость в эффективной и безопасной зарядке, что делает данную технологию особенно актуальной. Эта технология помогает управлять нагрузкой на электросеть и обеспечивает оптимальные условия для зарядки.

Основные преимущества интеллектуальных сценариев управления:

1. Балансировка мощности, при наличии нескольких ЭМ с разными требованиями к мощности заряда, информация о состоянии ЗС передается в контроллер балансировки мощности. Контроллер оптимизирует распределение мощности между ЗС, чтобы обеспечить эффективный цикл заряда.

2. Перераспределение мощности, если на одной из ЗС нет потребителей, мощность перераспределяется на другие станции, где она необходима. Это позволяет максимизировать использование имеющейся мощности и минимизировать риски перегрузок.

3. Снижение рисков перегрузок, технология позволяет избежать перегрузок в сети, что особенно важно в условиях высокой нагрузки.

4. Экономия на инфраструктуре, использование технологии снижает необходимость в строительстве новых подстанций и увеличении мощностей существующих, что сокращает экономические издержки.

Материалы и методы (Materials and methods)

В целях реализации Концепции в 2024 году внесены изменения в СП, позволяющие производить расчет мощности зарядной инфраструктуры, интегрированной в жилые здания. В частности, введены коэффициенты спроса, коэффициент несовпадения максимумов ЗС.

Согласно проекту Федерального закона о внесении изменений в статью 29.2 Градостроительного кодекса РФ, внесенному в 2024 году, региональные градостроительные нормативы должны устанавливать предельные значения расчетных показателей минимально допустимого количества машиномест, оборудованных ЗС для ЭМ, в размере не менее 5 % от общего количества машиномест.

В свою очередь, дополнительные затраты на технологическое присоединение ЗС в жилом секторе не оправданы, в связи с тем, что суточный график электрической нагрузки МКД изменяется с течением времени и имеет четко выраженный спад потребления электроэнергии в ночное время (рис. 1).

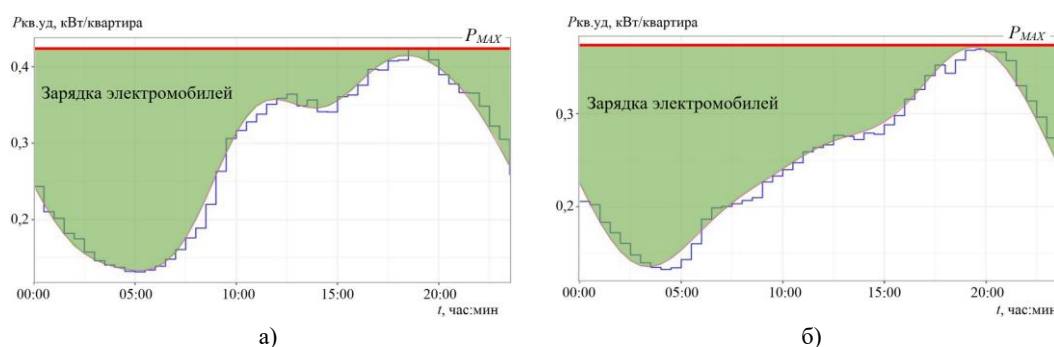


Рис. 1. Типичный график нагрузки МКД в выходные (а) и рабочие (б) дни
Fig. 1. Typical schedule of apartment building loads on weekends (a) and working days (b)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Зеленым цветом на рисунке 1 показаны временные зоны и объемы электроэнергии, которые можно использовать для зарядки ЭМ без превышения максимума (P_{MAX}) МКД. Следует отметить, что наибольшее количество свободной мощности и времени приходится на ночное время, что совпадает со временем зарядки ЭМ в МКД.

В качестве примера рассмотрены МКД г. Москвы, состоящие из 1 276 (вариант № 1) и 703 (вариант № 2) квартир [23]. Количество парковочных мест, оборудованных ЗС, составляет 5% от общего количества парковочных мест. Общее количество парковочных мест определяется из расчета 1 место на две квартиры. Для варианта № 1, количество парковочных мест, оборудованных ЗС, составило 32, для варианта № 2 – 18. В расчете рассматриваются медленные ЗС мощностью 11 кВт. Расчеты требуемой мощности ЗС для двух вариантов выполнены при следующих условиях: с учетом коэффициента спроса ($k_{с.з}$) (вариант № 1 – 193 кВт; вариант № 2 – 126 кВт); с учетом коэффициентов спроса ($k_{с.з}$) и несовпадения максимумов ($k_{нм.з}$) (вариант № 1 – 48 кВт; вариант № 2 – 31 кВт).

Требуемая мощность ЗС полностью компенсируется ночным провалом в соответствии с графиком нагрузки рассмотренных МКД г. Москвы (рис. 2) и не требует дополнительных затрат на технологическое присоединение. Так как пиковая нагрузка МКД в вечернее время составляет всего 32% от общей мощности трансформаторной подстанции (ТП) [22, 23], то это позволяет сделать вывод, что в резерве еще остается около 67% мощности.

Учитывая, что вопрос развития зарядной инфраструктуры является крайне актуальной задачей в настоящее время ведется НИР по исследованию энергопотребления и определению расчетных электрических нагрузок зарядной инфраструктуры для ЭМ, интегрированной в электрические установки общественных и многофункциональных зданий, по заданию федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» при Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

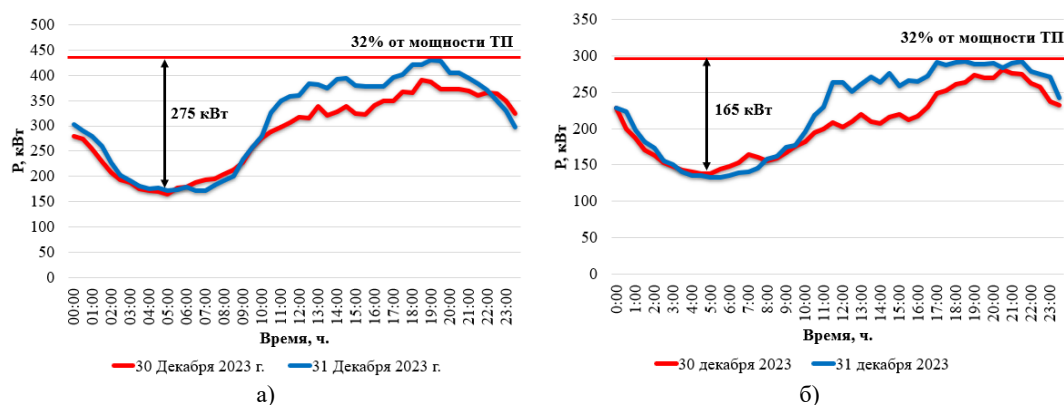


Рис. 2. Графики нагрузок МКД, состоящих из 1 276 квартир – вариант № 1 (а) и 703 квартир – вариант № 2 (б)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

В рамках выполнения НИР сформирована большая база данных по зарядным сессиям ЭМ на ЗС по всей стране. Это позволяет разработать нормативные значения и статистическими методами их обосновать.

В качестве примера на рисунке 3 представлена зарядная сессия ЭМ, предоставленная ООО «ЭЛЕКТРИФЛАЙ» – одним из операторов ЗС, по которой можно наблюдать за изменением электроэнергии нарастающим итогом, кВт·ч (рис. 3а), мощности, кВт (рис. 3б), состоянию заряда (SoC), % (рис. 3в), дискретность графиков составляет 1 мин. SoC определяется как отношение оставшегося заряда в батарее к максимальному заряду, который может обеспечить батарея.

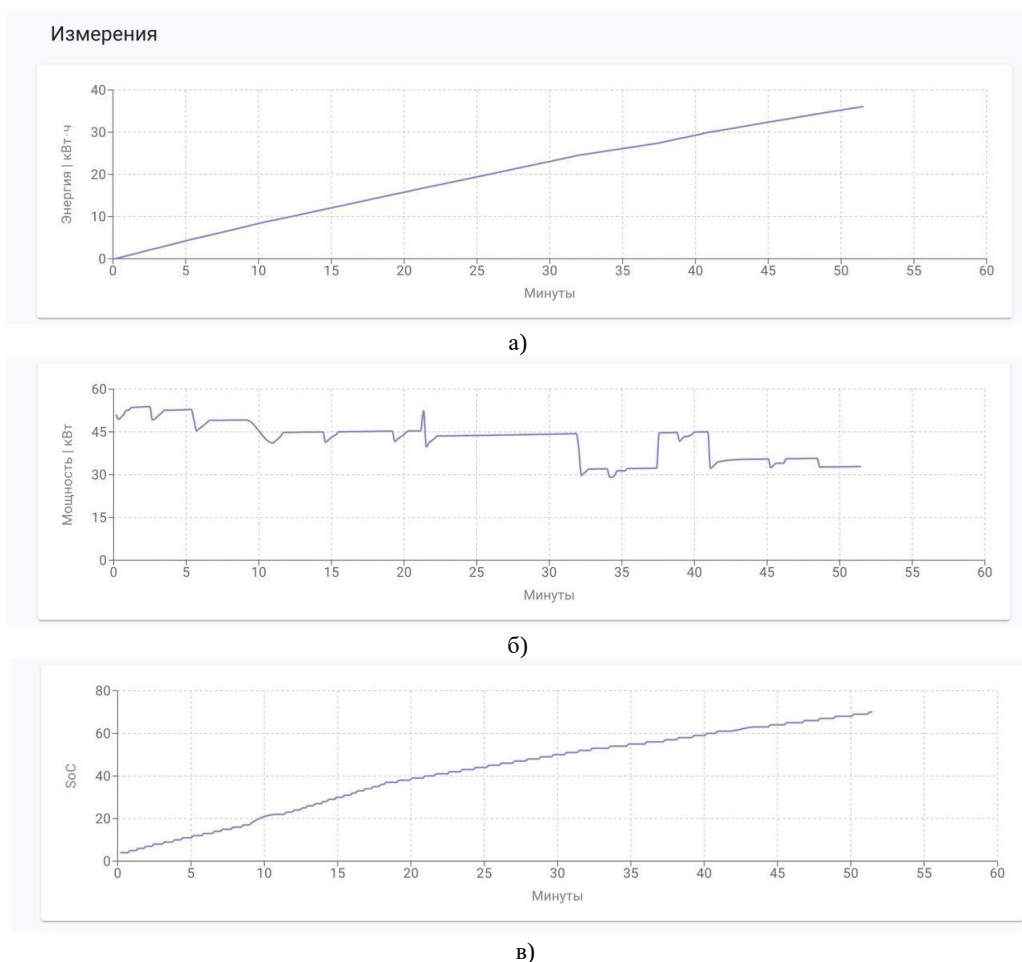
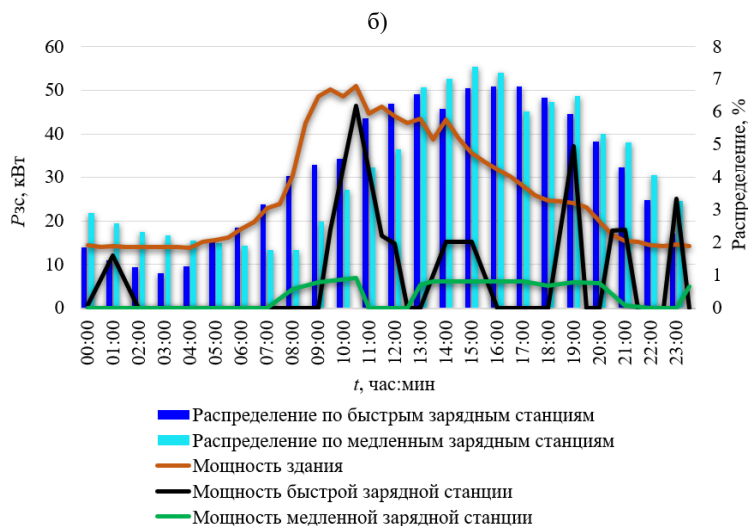
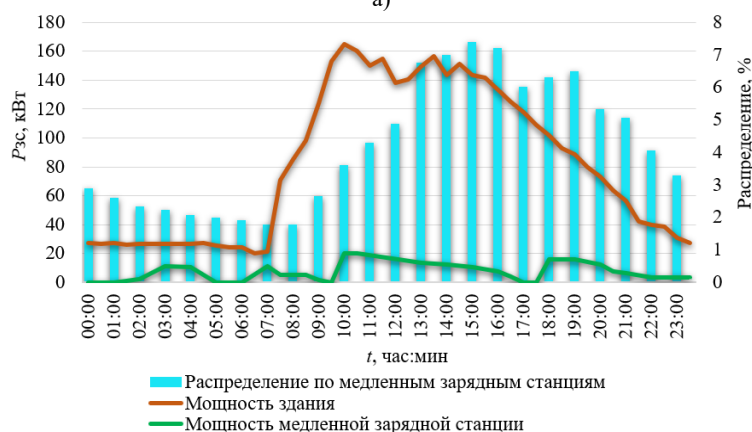


Рис. 3. Зарядная сессия ЭМ, графики: электроэнергия нарастающим итогом (а), мощность (б), состоянию заряда (SoC) (в)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Данные о зарядных сессиях ЭМ позволили сформировать график распределения зарядных сессий по времени суток и, наложив его на график электрической нагрузки ДООУ, СОШ, МЛПУ и ФОК, получить соответствующие нормативные значения, на основании которых подготовить предложения по внесению изменений к СП.

В качестве примера на рисунке 4 представлены графики совмещения графика распределения зарядных сессий по времени суток и графика электрической нагрузки ДООУ (рис. 4а), СОШ (рис. 4б), МЛПУ (рис. 4в) и ФОК (рис. 4г).



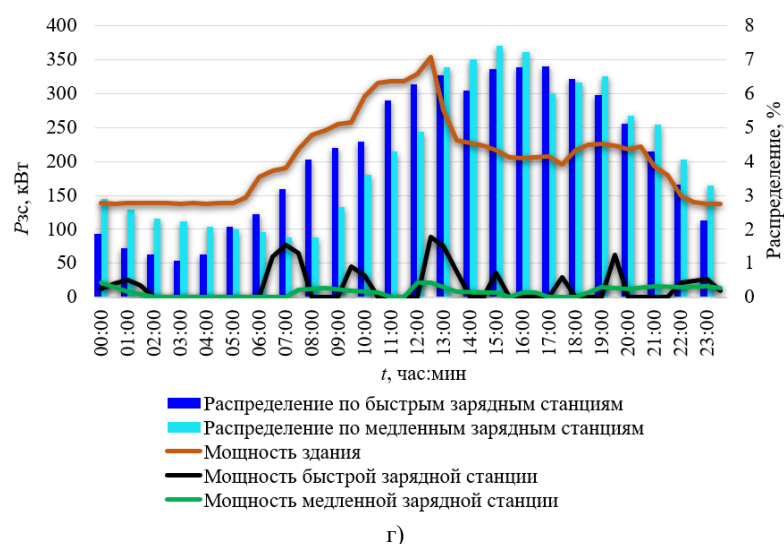


Рис. 4. Графики совмещения графика распределения зарядных сессий по времени суток и графика электрической нагрузки ДОУ (а), СОШ (б), МЛПУ (в) и ФОК (г)

Fig. 4. Graph of the combination of the distribution schedule of charging sessions by time of day and the electrical load schedule of a preschool educational institution (a), secondary school (b), multidisciplinary medical and preventive institution (c) and physical education and sports complex (d)

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Как видно из графиков на рисунке 4, зарядные сессии чаще всего происходят в дневное время и в отличие от МКД совпадают с пиковой нагрузкой рассматриваемых общественных зданий. С увеличением количества ЗС, подключенных к подстанциям, питающим эти объекты, целесообразно использовать коэффициенты спроса, учитывающие перекрытие сеансов зарядки при работе нескольких ЗС. Используя графики распределения зарядных сессий по времени суток и графика электрической нагрузки общественных зданий, можно разработать коэффициенты спроса, одновременности и несовпадения максимумов для любого количества ЗС, интегрированных в рассматриваемые объекты. Сравнение графиков нагрузки общественных зданий и ЗС на рисунке 4 демонстрирует, что чем больше уровень нагрузки общественного здания, тем менее значимо влияние ЗС. К примеру, работа медленной ЗС в ДОУ будет значительно влиять на общий график нагрузки (рис. 4а), напротив работа медленной ЗС в ФОК (рис. 4г) практически не оказывает влияния на общий график.

Результаты (Results)

На основании анализа отечественных и зарубежных нормативно-технических документов и результатов выполненной НИР предлагается учесть в проекте изменений к СП следующее:

Дополнить пункт 7.4.3 абзацем третьим в следующей редакции:

«Автостоянки для сотрудников и посетителей в составе медицинских организаций, организаций социального обслуживания населения, органов управления и обслуживания населения следует оборудовать ЗС для ЭМ. Количество машиномест, оборудованных ЗС, следует принимать: для автостоянок сотрудников из расчета 1 машиноместо на каждые 50 сотрудников организации, но не менее 2; для автостоянок посетителей из расчета 1 машиноместо на каждые 100 полных и неполных посещений в смену».

Дополнить подраздел 7.4 пунктом 7.4.6 в следующей редакции:

«7.4.6 Расчетная нагрузка общественных зданий с ЗС для ЭМ, интегрированными в электроустановки зданий, приведенная к вводу $P_{\text{общ}}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{\text{общ}} = P_p + K_{\text{нм.зс}} \cdot \sum_m n_m^{\text{зс}} \cdot K_m^{\text{с.зс}} \cdot P_m^{\text{зс}} \quad (13,а)$$

где P_p – расчетная электрическая нагрузка питающих вводов в здание в рабочем режиме, определенная согласно п. 7.2 СП, кВт; $K_{\text{нм.зс}}$ – коэффициент несовпадения максимумов нагрузки ЗС с максимумом нагрузки здания; $P_m^{\text{зс}}$ – расчетная нагрузка ЗС m -ой группы, кВт; $n_m^{\text{зс}}$ – количество однотипных ЗС в m -ой группе; $K_m^{\text{с.зс}}$ – коэффициенты спроса ЗС m -ой группы.

При наличии автоматизации, регулирующей отпуск свободной мощности на нужды

зарядной инфраструктуры, следует руководствоваться положениями п. 7.4.5 СП.

Дополнить подраздел 7.4 пунктом 7.4.7 в следующей редакции:

«7.4.7 Расчетную нагрузку ЗС $P_m^{ЗС}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_m^{ЗС} = K_m^{0,ЗС} \cdot (P_{ном1} + P_{ном2}) \quad (13,6)$$

где $K_m^{0,ЗС}$ – коэффициент одновременности зарядных сессий m -ой ЗС принимается равным значениям в соответствии с СП; $P_{ном1}$, $P_{ном2}$ – номинальные мощности двух наиболее мощных коннекторов ЗС, кВт.

Разработка методики расчета одновременно с разработкой коэффициентов одновременности, спроса и коэффициента несовпадения максимумов зарядной инфраструктуры, интегрированной в жилые и общественные здания, позволит существенно снизить затраты на технологическое присоединение к электрическим сетям.

Обсуждение (Discussions)

Анализ нагрузок ДОУ, СОШ, МЛПУ, ФОК [22-25] показал, что в рабочих режимах нагрузка вышеуказанных учреждений существенно ниже проектных значений, поскольку проектная нагрузка определялась с учетом аварийных режимов, что приводит к значительным резервам мощностей на питающих ТП. Аварийная нагрузка зависит от площади и высоты здания и достигает 30-40% от его расчетной рабочей мощности. В величину заявляемой мощности технологического присоединения включается суммарное значение рабочей и аварийной нагрузки без понижающих коэффициентов.

Реальные замеры максимальной фактической нагрузки и заявленной мощности технологического присоединения демонстрируют, что существует резерв мощности (который также обусловлен несовершенством нормативной базы [24]), что наглядно видно на примере ДОУ (рис. 5).

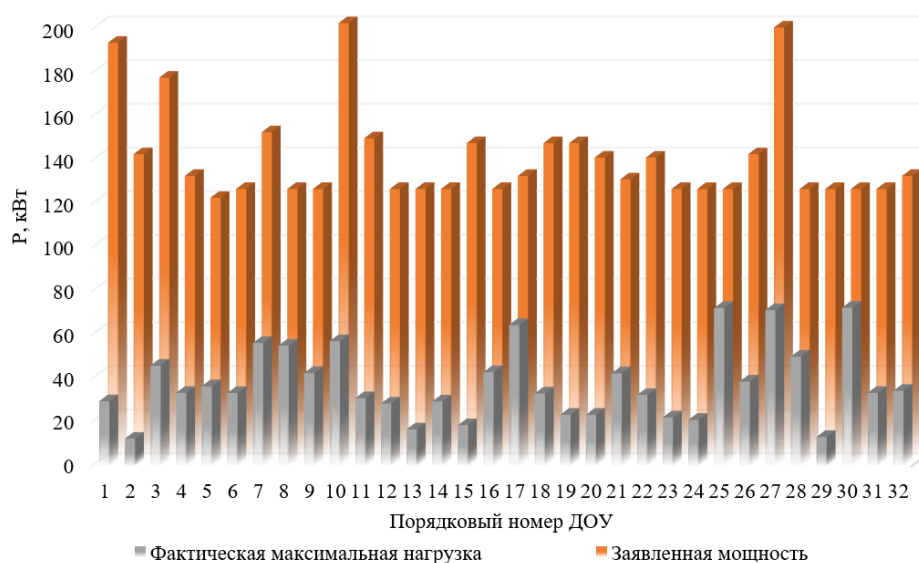


Рис. 5. Сравнение заявленной мощности технологического присоединения и фактических максимальных нагрузок ДОУ

Fig. 5. Comparison of the declared capacity of technological connections and the actual maximum loads of kindergartens

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Поскольку в режиме нормальной эксплуатации здания образуется не используемый резерв мощности, заложенный в выбор питающего кабеля и трансформаторов на питающей подстанции, имеется возможность его применить для подключения ЗС при условии оснащения подключаемой нагрузки соответствующей противоаварийной автоматикой и системой балансировки мощности ЗС [7].

До 2030 г. ввиду наличия запаса мощности на ТП, питающих жилые и общественные здания, в соответствии с динамикой развития электротранспорта в РФ предлагается коэффициент несовпадения максимумов принять равным нулю, однако необходимо обеспечивать мониторинг количества эксплуатируемых ЭМ и зарядных сессий на ЗС для периодического пересмотра выше указанного коэффициента.

Делается это следующим образом. В электрощитовой здания устанавливается дополнительный щиток с автоматическими выключателями 0,4 кВ, оснащенными

независимыми расцепителями. Питание к новому щитку подводится от входных зажимов ВРУ. Автоматические выключатели щитка и кабели 0,4 кВ к ЗС выбираются исходя из мощности устанавливаемых станций, которая не должна превышать располагаемый аварийный запас. Возможно использование дополнительного резерва мощности в уже действующих общественных зданиях, если он выявлен измерениями реального электропотребления. На этапе проектирования это не допускается.

В случае срабатывания противопожарных охранных систем включаются электродвигатели дымососов и аварийное освещение, повышая общую нагрузку здания. Для предотвращения перегрузки питающих здание кабелей все ЗС должны быть немедленно отключены. Достигается это установкой автоматических выключателей с независимым расцепителем, на которые поступает команда «отключить» (цифровой вход) от охранной системы, или же силовой сигнал непосредственно на независимый расцепитель через адаптер, подключенный к противопожарной охранной системе. Дублирующий сигнал формируется максимальной токовой защитой/токовой отсечкой, подключаемой к трансформаторам тока на приёмном конце питающих кабелей. Тем самым выполняется разгрузка питающих кабелей до расчетной величины максимального тока.

На этапе проектирования системы электроснабжения общественного здания наличие ЗС может быть учтено заранее в виде самостоятельной цепи питания непосредственно от шин 0,4 кВ ТП. Предлагаемое выше техническое решение актуально для уже эксплуатируемых общественных зданий, где будут предусматриваться парковочные места для ЭМ и отсутствуют свободные ячейки для подключения новых присоединений в РУ-0,4 кВ ТП.

Численный пример. Общественное здание имеет максимальную расчетную нагрузку 500 кВт, аварийная нагрузка составляет 150 кВт. Заявленная мощность технологического присоединения составила 650 кВт. Свободные ячейки в РУ-0,4 кВ ТП для подключения новых кабелей от ЗС отсутствуют.

Мониторинг электрической нагрузки здания показал, что фактическая максимальная мощность достигает только 400 кВт. Таким образом, имеется возможность подключения ЗС на мощность не свыше 250 кВт. При этом должно быть предусмотрено отключение не менее 150 кВт мощности ЗС в случае срабатывания противопожарной охранной системы.

Возможны два технических решения подключения ЗС к эксплуатируемым электрическим сетям: непосредственно от электрощитовой здания (описано выше) и по схеме (рис. 6) через пункт секционирования заглубленного исполнения кабельных сетей 6-10 кВ [27].

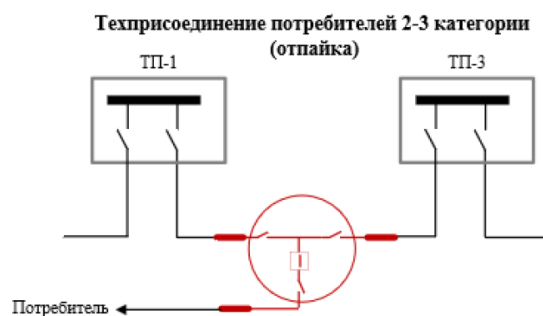


Рис. 6. Схема подключения новой нагрузки к кабельной сети на стороне 6-10 кВ

Fig. 6. Connection diagram of a new load to a 6-10 kV cable network

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Второй вариант ограничен по мощности только допустимой нагрузкой кабелей, к которым подключается пункт секционирования, но существенно более затратен по отношению к первому варианту, т.к. требуется прокладка высоковольтного ответственного кабеля, установка понижающего трансформатора и распределительного щита 0,4 кВ.

Первый вариант требует внесения дополнений в нормативные документы в части состава противоаварийной автоматики и наличия автоматических выключателей с независимым расцепителем в дополнительном распределительном щитке 0,4 кВ.

Выводы (Conclusions)

Анализ загрузки ЗС в различных городах страны выявил, что наибольшим

спросом для зарядки ЭМ пользуются быстрые общественные ЗС (номинальная мощность 50 кВт и более). Установлено, что подавляющее большинство зарядных сессий приходится на разъемы, предназначенные для зарядки ЭМ производства Китая и Японии. Кроме того, было установлено, что несмотря на то, что ЗС оснащены несколькими разъемами, одновременная зарядка даже двух ЭМ на одной ЗС в подавляющем большинстве случаев не происходит. Выполнены исследования влияния нагрузки ЗС ЭМ на системы электроснабжения общественных зданий, таких как ДОУ, СОШ, МЛПУ, ФОК, а также разработана методика определения расчетных нагрузок ЗС ЭМ и методика определения расчетных нагрузок общественных зданий с учетом зарядной инфраструктуры.

Было установлено, что дополнительных мощностей для подключения зарядной инфраструктуры к системам электроснабжения жилых и общественных зданий до 2030 г. не требуется, ввиду достаточного запаса мощности на ТП.

Так как ДОУ, СОШ не предназначены для посещения посторонних лиц предлагается использование только медленных ЗС для персонала, а для МЛПУ, ФОК необходима установка как медленных, так и быстрых ЗС для удовлетворения потребностей персонала и посетителей данных объектов.

Литература

1. Бутырин П.А., Халютин С.П. Производство систем электропитания для автономных электротранспортных средств в России // *Электричество*. 2023. № 2. С. 13-26. DOI: 10.24160/0013-5380-2023-2-13-26.
2. Чжан К., Коровкин Н.В., Тан М. Анализ спроса на зарядку электромобилей в Ланьчжоу (Китай) // *Электричество*. 2024. № 9. С. 52-59. DOI: 10.24160/0013-5380-2024-9-52-59. EDN GHKGNT.
3. Gilleran M., Bonnema E., Woods J., et al. Impact of electric vehicle charging on the power demand of retail buildings // *Applied Energy*. 2021. Vol. 4. Art. no. 100062. DOI: 10.1016/j.adapen.2021.100062.
4. Ali S., Wintzek P., Zdrallek M. Development of demand factors for electric car charging points for varying charging powers and area types // *IEEE Electricity*. 2022. Vol. 3. Iss. 3. P. 410-441. DOI: 10.3390/electricity3030022.
5. Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., и др. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-5-100-114. EDN YIGCHH.
6. Cui Q., Weng Y., Tan C.-W. Electric vehicle charging station placement method for urban areas // *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019. Vol. 10. Iss. 6. P. 6552-6565.
7. Гвоздев Д.Б., Сафарян А.В., Королев А.А., и др. Принципы интеллектуального управления зарядными станциями для электромобилей // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2022. № S1(24). С. 8-14. EDN XMLXAG.
8. Xiong Y., Gan J., An B., et al. Optimal electric vehicle fast charging station placement based on game theoretical framework // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018. Vol. 19. Iss. 8. P. 2493-2504. Art. no. 8064175. DOI: 10.1109/TITS.2017.2754382.
9. Аргасцев А.Ю., Жданев О.В., Мякочин Ю.О. Развитие производства отечественных зарядных станций для электротранспорта // *Электрические станции*. 2022. № 6(1091). С. 42-53. EDN PHSNFT.
10. Воронин В.А., Непша Ф.С. Управление напряжением в низковольтных распределительных сетях в условиях внедрения домашних зарядных станций электромобилей // *iPolytech Journal*. 2024. Т. 28. № 2. С. 261-271. DOI: 10.21285/1814-3520-2024-2-261-271. EDN ZWSVER.
11. Кудрявцев А.А., Бабушкин М.А. Подстанция малой мощности 110/0,4 кВ как элемент электроснабжения зарядной инфраструктуры // *Энергия единой сети*. 2021. № 1(56). С. 56-59. EDN RTHFCK.
12. Воронин В.А., Непша Ф.С. Мультиагентное моделирование развития электрозарядной инфраструктуры города Кемерово // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2023. № 3(78). С. 10-17. EDN XVUSOW.
13. Yousuf A.K.M., Wang Z., Paranjape R., et al. An in-depth exploration of electric vehicle charging station infrastructure: A comprehensive review of challenges, mitigation approaches and optimization strategies // *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 51570-51589. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3385731.
14. Вострокнутов А.Ю. Электромобили и зарядная инфраструктура // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2023. № 2(77). С. 18-19. EDN YFMIYA.
15. Валеева Ю.С., Калинина М.В., Зорина Т.Г., и др. Стимулирование развития электротранспорта как инструмент развития территории // *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2022. Т. 14. № 1(53). С. 155-172. EDN UCKMFG.

16. Lam A.Y.S., Leung Y.-W., Chu X. Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions // IEEE Transactions on Smart Grid. 2014. Vol. 5. Iss. 6. P. 2846 – 2856. Art. no. 6879337. DOI: 10.1109/TSG.2014.2344684.
17. Zema T., Sulich A., Grzesiak S. Charging stations and electromobility development: A cross-country comparative analysis // Energies. 2023. Vol. 16. Iss. 1. Art. no. 32. DOI: 10.3390/en16010032.
18. Soczówka P., Lasota M., Franke P., et al. Method of determining new locations for electric vehicle charging stations using GIS tools // Energies. 2024. Vol. 17. Iss. 18. Art. no. 4546. DOI: 10.3390/en17184546.
19. Chen L., Chung C.Y., Nie Y., et al. Modeling and optimization of electric vehicle charging load in a parking lot // IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). 2013. Art. no. 6837301. DOI: 10.1109/APPEEC.2013.6837301.
20. Huang J., Zhu C., Liang Q., et al. A step-by-step load forecasting method considering electric vehicle charging stations // 3rd International Conference on Energy, Power and Electrical Technology. ICEPET. 2024. P. 1325-1329. DOI: 10.1109/ICEPET61938.2024.10627620.
21. Грачева Е.И., Наумов О.В., Федотов Е.А. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 7-8. С. 71-77. EDN ZTQXSD.
22. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., и др. Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI: 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145. EDN RUVYDK.
23. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., и др. Актуализация удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы и Московской области // Электричество. 2023. № 7. С. 52-65. DOI: 10.24160/0013-5380-2023-7-52-65. EDN IQAFRE.
24. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., и др. Анализ удельных электрических нагрузок коттеджных поселков // Электричество. 2024. № 4. С. 36-50. DOI: 10.24160/0013-5380-2024-4-36-50.
25. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., и др. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.
26. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.
27. Асташев М., Горожанкин П., Красноперов Р., и др. Пункт секционирования заглубленного исполнения с силовыми выключателями для кабельных сетей 6-10 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. № S2(33). С. 28-39. EDN CAGVGC.

Авторы публикации

Солуянов Юрий Иванович – д-р техн. наук, заслуженный профессор Казанского государственного энергетического университета, президент ООО «Ассоциация РЭМ», председатель совета директоров АО «ТАТЭМ». Email: info@roselmon.su.

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Казанского государственного энергетического университета. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-8038>. Email: fed.ai@mail.ru.

Ахметшин Азат Ринатович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>. Email: ahmetshin.ar@mail.ru.

Федотов Евгений Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Казанского государственного энергетического университета. Email: evfedotov2008@mail.ru.

Халтурин Владимир Александрович – начальник управления проектирования АО «ТАТЭМ». Email: k183om@mail.ru.

References

1. Butyrin PA, Khalyutin SP. Production of power supply systems for autonomous electric vehicles in Russia. *Elektrichestvo*. 2023;2:13-26. doi: 10.24160/0013-5380-2023-2-13-26. (In Russ).
2. Zhang K, Korovkin NV, Tan M. Analysis of demand for charging of electric vehicles in Lanzhou (China). *Elektrichestvo*. 2024;9:52-59. doi: 10.24160/0013-5380-2024-9-52-59. (In Russ).
3. Gilleran M, Bonnema E, Woods J, et al. Impact of electric vehicle charging on the power demand of retail buildings. *Applied Energy*. 2021;4:100062. doi: 10.1016/j.apen.2021.100062.
4. Ali S, Wintzek P, Zdrallek M. Development of demand factors for electric car charging points for varying charging powers and area types. *IEEE Electricity*. 2022;3(3):410-441. doi: 10.3390/electricity3030022.
5. Safin AR, Ivshin IV, Tsvetkov AN, et al. Development of technology of mobile charging stations for electric vehicles. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2021; 23(5):100-114. doi: 10.30724/1998-9903-2021-23-5-100-114. (In Russ).
6. Cui Q, Weng Y, Tan C-W. Electric vehicle charging station placement method for urban areas. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019;10(6):6552-6565.
7. Gvozdev DB, Safaryan AV, Korolev AA, et al. Principles of intelligent control of charging stations for electric vehicles. *Electric power. Transmission and distribution*. 2022;24(S1):8-14. (In Russ).
8. Xiong Y, Gan J, An B, et al. Optimal electric vehicle fast charging station placement based on game theoretical framework. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018;19(8):2493-2504. doi: 10.1109/TITS.2017.2754382.
9. Argastsev AYU, Zhdaneev OV, Myakochin YuO. Development of production of domestic charging stations for electric transport. *Electric stations*. 2022;1091(6):42-53. (In Russ).
10. Voronin VA, Nepsha FS. Voltage control in low-voltage distribution networks in the context of the introduction of home charging stations for electric vehicles. *iPolytech Journal*. 2024;28(2):261-271. doi: 10.21285/1814-3520-2024-2-261-271. (In Russ).
11. Kudryavtsev AA, Babushkin MA. Low-power substation 110/0.4 kV as an element of power supply of charging infrastructure. *Energy of the unified grid*. 2021;56(1):56-59. (In Russ).
12. Voronin VA, Nepsha FS. Multi-agent modeling of the development of electric charging infrastructure of the city of Kemerovo. *Electric Power. Transmission and Distribution*. 2023;78(3):10-17. (In Russ).
13. Yousuf AKM, Wang Z, Paranjape R, et al. An in-depth exploration of electric vehicle charging station infrastructure: A comprehensive review of challenges, mitigation approaches and optimization strategies. *IEEE Access*. 2024;12:51570-51589. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3385731.
14. Vostroknutov AYU. Electric vehicles and charging infrastructure. *Electric power. Transmission and distribution*. 2023;77(2):18-19. (In Russ).
15. Valeeva YuS, Kalinina MV, Zorina TG, et al. Stimulating the development of electric transport as a tool for territorial development. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo ehnergeticheskogo universiteta*. 2022;14(1):155-172. (In Russ).
16. Lam AYS, Leung Y-W, Chu X. Electric vehicle charging station placement: Formulation, complexity, and solutions. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2014;5(6):2846 – 2856. doi: 10.1109/TSG.2014.2344684.
17. Zema T, Sulich A, Grzesiak S. Charging stations and electromobility development: A cross-country comparative analysis. *Energies*. 2023;16(1):32. doi: 10.3390/en16010032.
18. Soczówka P, Lasota M, Franke P, et al. Method of determining new locations for electric vehicle charging stations using GIS tools. *Energies*. 2024;17(18):4546. doi: 10.3390/en17184546.
19. Chen L, Chung CY, Nie Y, et al. Modeling and optimization of electric vehicle charging load in a parking lot. *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*. 2013:6837301. doi: 10.1109/APPEEC.2013.6837301.
20. Huang J, Zhu C, Liang Q, et al. A step-by-step load forecasting method considering electric vehicle charging stations. *3rd International Conference on Energy, Power and Electrical Technology. ICEPET*. 2024:1325-1329. doi: 10.1109/ICEPET61938.2024.10627620.
21. Gracheva EI, Naumov OV, Fedotov EA. Influence of the load capacity of power transformers on their operational characteristics. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2017;19(7-8):71-77. (In Russ).
22. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Updating the specific electrical loads of preschool educational and general educational institutions. *Bulletin of the Chuvash University*. 2021;1:134-145. doi: 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145. (In Russ).
23. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Updating the specific electrical loads of apartment buildings in Moscow and the Moscow region. *Electricity*. 2023;7:52-65. doi: 10.24160/0013-5380-2023-7-52-65. (In Russ).

24. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Analysis of specific electrical loads of cottage villages. *Electricity*. 2024;4:36-50. doi: 10.24160/0013-5380-2024-4-36-50. (In Russ).

25. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Analysis of actual electrical loads of public spaces built into residential buildings. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2021;23(6):134-147. doi: 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. (In Russ).

26. Soluyanov YuI, Akhmetshin AR, Soluyanov VI. Updating the specific electrical loads of public spaces built into residential buildings. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2021;23(3):47-57. doi: 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. (In Russ).

27. Astashev M, Gorozhankin P, Krasnoperov R, et al. Recessed sectioning point with power switches for 6-10 kV cable networks. *Electric Power. Transmission and Distribution*. 2024;33(S2):28-39. (In Russ).

Authors of the publication

Yuri I. Soluyanov – LLC "Association REM", Kazan, Russia. Email: info@roselmon.su.

Alexander I. Fedotov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-8038>. Email: fed.ai@mail.ru.

Azat R. Akhmetshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>. Email: ahmetshin.ar@mail.ru.

Eugenii A. Fedotov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: evfedotov2008@mail.ru.

Vladimir A. Khalturin – JSC "TATEM", Kazan, Russia. Email: k183om@mail.ru.

Шифр научной специальности: 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы

Получено 25.10.2024 г.

Отредактировано 25.11.2024 г.

Принято 29.11.2024 г.