



СУММИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Федотов Е.А., Кулаков В.Н.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
ahmetshin.ar@mail.ru

Резюме: АКТУАЛЬНОСТЬ исследования заключается в совершенствовании нормативной базы, регламентирующей порядок определения расчетной нагрузки при суммировании жилых и общественных зданий жилых комплексов. ЦЕЛЬ. Выполнить анализ графиков электрических нагрузок трансформаторных подстанций, питающих смешанную нагрузку: многоквартирные дома, дошкольные образовательные учреждения и средние образовательные школы в различные периоды времени года, дней недели, времени суток с последующей разработкой предложений по актуализации СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» в части методики определения суммарной нагрузки жилых и общественных зданий жилого комплекса. МЕТОДЫ. При выполнении поставленной цели были использованы экспериментальные, математические и статистические методы. РЕЗУЛЬТАТЫ. Выполненный анализ графиков нагрузки позволил определить временные периоды максимумов нагрузок трансформаторных подстанций, питающих смешанную нагрузку. Результаты проведенного анализа будут использованы при актуализации коэффициентов одновременности и несовпадения максимумов для суммирования смешанной нагрузки на трансформаторной подстанции. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Максимальная нагрузка трансформаторных подстанций, питающих только многоквартирные дома, приходится на вечерние часы выходных дней зимнего периода (в рабочие дни нагрузка ниже). Напротив, максимальные нагрузки трансформаторных подстанций, питающих многоквартирные дома и дошкольные образовательные учреждения, а также многоквартирные дома и средние образовательные школы, приходятся на рабочие дни. Расчетная нагрузка таких трансформаторных подстанций должна суммироваться с нагрузкой многоквартирных домов в рабочие дни с учетом дневного максимума нагрузки образовательных учреждений, для чего необходимо предусмотреть корректирующий коэффициент.

Ключевые слова: электрические нагрузки; коэффициент одновременности; коэффициент несовпадения максимумов; график нагрузки; проектирование систем электроснабжения.

Благодарности: Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Для цитирования: Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Федотов Е.А., Кулаков В.Н. Суммирование электрических нагрузок жилых и общественных зданий жилого комплекса // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2025. Т. 27. № 2. С. 76-89. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-2-76-89.

SUMMATION OF ELECTRICAL LOADS OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS OF A RESIDENTIAL COMPLEX

Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Fedotov E.A., Kulakov V.N.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
ahmetshin.ar@mail.ru

Abstract: *RELEVANCE. The aim of the research is to improve the regulatory framework governing the procedure for determining the estimated load when summing up residential and public buildings of residential complexes. THE PURPOSE. To analyze the graphs of electrical loads of transformer substations supplying a mixed load: apartment buildings, preschool educational institutions and secondary schools at different times of the year, days of the week, times of day, 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 total load of residential and public buildings of a residential complex. METHODS. In achieving the set goal, experimental, mathematical and statistical methods were used. RESULTS. The performed analysis of the load graphs allowed us to determine the time periods of maximum loads of transformer substations feeding a mixed load. The results of the analysis will be used to update the coefficients of simultaneity and non-coincidence of maximums for summing up the mixed load at the transformer substation. CONCLUSION. The maximum load of transformer substations feeding only apartment buildings falls on the evening hours of weekends in the winter period (the load is lower on weekdays). On the contrary, the maximum loads of transformer substations feeding apartment buildings and preschool educational institutions, as well as apartment buildings and secondary schools, fall on weekdays. The estimated load of such transformer substations should be summed up with the load of apartment buildings on weekdays, taking into account the daily maximum load of educational institutions, for which it is necessary to provide a correction factor.*

Keywords: *electrical loads; simultaneity factor; maximum non-coincidence factor; load schedule; design of power supply systems.*

Acknowledgments: *The work was carried out with the support of a grant from the Tatarstan Academy of Sciences, provided to young candidates of science (postdoctoral researchers) for the purpose of defending a doctoral dissertation, conducting scientific research, as well as performing job functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan".*

For citation: Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Fedotov E.A., Kulakov V.N. Summation of electrical loads of residential and public buildings of a residential complex. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2025; 27 (2): 76-89. doi: 10.30724/1998-9903-2025-27-2-76-89.

Введение (Introduction)

Пересмотр нормативных документов, направленных на совершенствование проектирования систем городского электроснабжения, делает актуальным анализ используемых в настоящее время методов расчета электрических нагрузок, от чего зависят количество и мощность трансформаторных подстанций (ТП), сечения питающих кабелей, а также расчетная мощность технологического присоединения [1-6].

Использование устаревших нормативных значений в жилищном строительстве привело к тому, что ТП загружены в среднем не более, чем на 45% [1-6]. Решение задачи по пересмотру нормативных документов приведет к оптимальной загрузке ТП, что, с одной стороны, сократит «запертую электрическую мощность», вследствие чего уменьшатся потери электроэнергии [7-9], а с другой стороны, снизит затраты на технологическое присоединение [1-3].

В настоящее время активизируются процессы обновления или же полного пересмотра тех нормативных документов, которые использовались при проектировании электротехнических объектов многие десятилетия [1-6, 10-17].

Совершенствование проектирования направлено на реализацию принципов параметрического метода нормирования, которое предполагает на верхнем уровне задание базовых условий, а на более низких уровнях уже представление проектировщикам возможностей выбора, оставаясь в рамках жестких ограничений по безопасности, допустимым токовым нагрузкам, надежности и т.п., тех технических решений, которые наиболее подходят для конкретных условий. Применение параметрического метода нормирования способствует внедрению в системах электроснабжения жилых зданий альтернативных решений таких, как применение

накопителей электроэнергии, позволяющих обеспечить снижение расчетной присоединяемой нагрузки [18, 19], распределенной генерации [19, 20] и интеллектуальной электрической сети с элементами гексагональной структуры [21-24] и т.п.

Оценка современного состояния научно-технической проблемы несоответствия расчетных электрических нагрузок групп потребителей жилого микрорайона на шинах ТП и распределительных пунктов их фактическим значениям показывает недостаточное методическое обеспечение в соответствующих нормативных документах. При суммировании расчетной нагрузки каждого из групп потребителей необходимо учитывать неодновременность их максимумов нагрузки [25, 26]. В тоже время коэффициенты одновременности максимумов нагрузки не обновлялись более 25 лет и не учитывают изменившийся состав электроприемников. Цель и задачи работы состоят в анализе выполненных измерений электрических нагрузок многоквартирных домов (МКД) и дополнении их результатами измерений электрических нагрузок дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) и средних образовательных школ (СОШ); в статистической обработке используемых электрических нагрузок в составе разнородных групп жилого комплекса; в анализе состава нежилых помещений обследованных МКД; в разработке предложений по изменениям и дополнениям ранее утвержденных сводов правил в виде методики расчета суммарной нагрузки в целом по жилому комплексу.

В представленном исследовании выполнен анализ электропотребления ТП с разным составом нагрузок, а также анализ пиковых нагрузок, что обеспечит в дальнейшем расчет необходимых коэффициентов суммирования расчетных нагрузок рассматриваемых объектов. Для исследования графиков нагрузки ТП была сформирована выборочная совокупность ТП г. Москвы и Московской области.

Литературный обзор (Literature Review)

В статье [1] представлено исследование городских ТП 10/0,4 кВ в различных регионах Российской Федерации, и показано, что более 70% трансформаторов в течение года загружены менее, чем на 30% от номинальной мощности. Анализ фактических суточных графиков электрических нагрузок МКД Республики Татарстан (РТ) за 2016-2018 гг. с последующей статистической обработкой позволил обосновать необходимость снижения расчетной электрической нагрузки при проектировании МКД и разработать новые региональные нормативы удельных расчетных нагрузок. На примере жилого комплекса «Салават Купере» показана экономическая эффективность применения новых нормативов для РТ при расчетах электрических нагрузок и выборе электрооборудования.

Исследования электрических нагрузок на примере г. Москвы, представленные в [2], показали, что можно оперировать не только отдельными квартирами, что усложняет измерения, но и их группами, включая и общедомовую нагрузку, что существенно упрощает расчёты по выбору элементов внешней системы электроснабжения МКД, включая питающие ТП. Измерения потребляемой электроэнергии каждой квартиры МКД на интервалах наблюдения дали возможность исключить неэксплуатируемые квартиры, что позволяет более точно рассчитывать удельные электрические нагрузки квартир по данным фактических измерений. Показано, что нормативные значения удельных электрических нагрузок завышены, в том числе при учёте общедомовой и коммерческой нагрузки [5]. На основании статистической обработки удельной электрической нагрузки квартир МКД Московской области кластера 11-18 этажей разработаны изменения в нормативно-технический документ в части актуализации удельных расчетных электрических нагрузок квартир МКД Московской области кластера 11-18 этажей. Проведенные в 2021-2022 гг. масштабные измерения электрических нагрузок МКД Москвы и Московской области [6] позволили привести анализ и статистическую обработку по обоснованию предложения по объединению Москвы и Московской области в единую агломерацию при нормировании удельных электрических нагрузок.

В статье [3] приводится необходимость разработки нормативных документов по удельным электрическим нагрузкам для объектов индивидуального жилищного строительства (ОИЖС). По результатам анализа летних и зимних нагрузок ОИЖС установлено, что средние электрические нагрузки для объектов индивидуального жилищного строительства в сельской местности выше, чем в городской черте. Полученные графики удельных расчетных электрических нагрузок и коэффициентов одновременности позволят разработать нормативный документ для проектирования электрических сетей коттеджных поселков.

В [4] проанализированы суточные графики МКД, ДОУ и СОШ в рабочие и выходные дни и выполнена оценка временных интервалов набора и сброса нагрузки для использования при выборе параметров электрозарядных станций.

Проблема повышения точности расчёта электрических нагрузок МКД с квартирами, оснащёнными электроплитами, рассматривается в [10]. Предлагаются новые методики определения электрических нагрузок квартир с электрическими плитами МКД.

Корректировка удельных электрических нагрузок квартир в нормативных документах по результатам обследования электрических нагрузок МКД с электроплитами в Московском регионе за период с 2012 по 2021 г. представлена в [11].

В [12] исследована возможность учета взаимной корреляции индивидуальных графиков электрической нагрузки МКД с помощью их некоррелированных компонентных моделей и применения для оценки суммарного вклада в дисперсию суммарного графика электрической нагрузки.

По экспериментальному графику нагрузки МКД выполнен анализ зависимости погрешности определения расчетной электрической нагрузки по нагреву от длительности интервала измерений с помощью счетчиков электроэнергии [13]. Показано, что с практической точки зрения достаточно точные результаты определения расчетной электрической нагрузки по нагреву получаются при длительности интервалов измерения 3, 5, 10 и 15 мин [13].

В [14] изложены результаты анализа почасовых и средних за сутки значений суточных графиков активной нагрузки, температуры воздуха, естественной освещенности, облачности и осадков г. Москвы. Предложена математическая модель на основе одномерного сингулярного спектрального анализа временных рядов естественной освещенности, облачности и осадков для повышения точности прогнозирования суточного графика активной нагрузки.

Целью исследования, представленного в [15], является выявление соответствия фактического электропотребления расчетному в распределительных электрических сетях с преобладанием коммунально-бытовых потребителей ряда городов Челябинской области. Определено расхождение между реальной электрической нагрузкой и ее нормативным значением, установленным действующими в настоящее время нормативными документами.

Результаты анализа электрических нагрузок на вводах ВРУ МКД приведены в [16]. Получена структура нагрузки ВРУ МКД относительно нормативного расчетного значения. В статье [17] обобщены типовые суточные графики нагрузки на вводе МКД с электрическими плитами из различных литературных источников и представлены современные суточные графики нагрузки на вводе в дома с электрическими плитами для различных дней недели (рабочие дни, суббота и воскресенье) зимы и лета. Для актуализированных графиков определены коэффициенты неравномерности, заполнения (плотности) и формы.

На примере Чанши (Китай), разработан метод, сокращающий объем работы и времени, необходимого для физического моделирования жилых комплексов, а также позволяющий быстро и точно моделировать почасовую нагрузку систем кондиционирования воздуха [27].

В статье [28] представлен метод прогнозирования, который использует комбинацию прогнозных значений на основе кластеризации временных рядов с использованием данных усовершенствованной измерительной инфраструктуры, одной из ключевых технологий интеллектуальных энергосистем [28]. Удаленный сбор данных с интервалом от 15 минут до 1 часа становится возможным благодаря развитию «расширенной инфраструктуры учета» и системам реального времени, передающим информацию о генерации и потреблении электроэнергии [29]. Однако прогнозирование усложняется из-за значительных колебаний в потреблении электроэнергии каждым домохозяйством. Точное прогнозирование спроса является важным для применения в интеллектуальных энергосистемах, и его точность может быть значительно улучшена за счет учета индивидуальных моделей потребления, представленных в данных умных счетчиков [30].

Прогнозирование социально-экономических характеристик домохозяйств, таких как уровень дохода и стиль приготовления пищи, на основе ежедневного потребления электроэнергии может быть крайне полезным для энергетических компаний. Это позволяет предлагать персонализированные услуги и переходить к более эффективному управлению энергопотреблением за счет внедрения программ энергосбережения. В данной статье [31] предлагается метод глубокого обучения (CNN-LSTM) для автоматического прогнозирования характеристик домохозяйств на основе данных об их энергопотреблении.

Материалы и методы (Materials and methods)

Максимумы электрических нагрузок имеют разные временные интервалы, как для однотипных, так и для разнородных объектов. В качестве примера выполнен анализ получасовых графиков электрических нагрузок на примере жилого комплекса г. Москвы, состоящего: МКД: №1 – 536 квартир, №2 – 442 квартиры, №3 – 688 квартир, №4 – 559 квартир, №5 – 704 квартиры; ДООУ: №1 – 250 воспитанников; №2 – 240 воспитанников; СОШ – 1490 учеников.

Графики электрических нагрузок пяти МКД представлены на рисунке 1а. Графики электрических нагрузок двух ДООУ и СОШ представлены на рисунке 1б. Суммарный график электрических нагрузок в центре питания представлен на рисунке 1в.

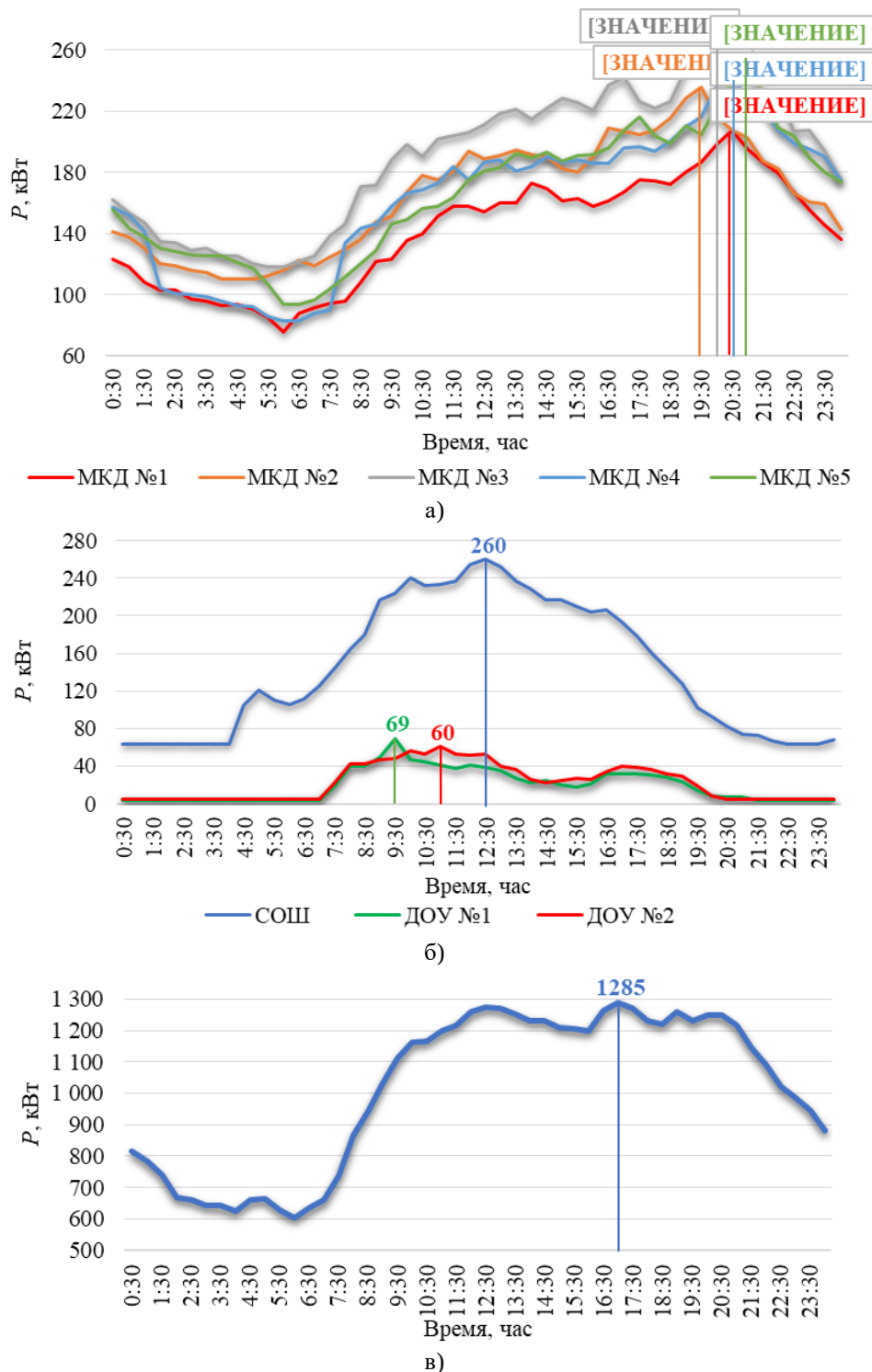


Рис. 1. Получасовые графики электрических нагрузок (а – МКД; б – ДООУ и СОШ; в – суммарный (совмещенный) график в центре питания)

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

Суммируя максимумы электрических нагрузок ТП (рис. 1а и 1б) рассматриваемого жилого комплекса по СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», получаем 1 592 кВт (100%), в тоже время максимум нагрузок суммарного (совмещенного) графика (рис. 1в) составляет 1 285 кВт (80,7%).

Исследование посвящено взаимосвязи времени и величины максимальных нагрузок ТП и их потребителей.

Рассматриваемая выборочная совокупность ТП состоит из 15 подстанций г. Москвы и Московской области. Все потребители выборочной совокупности ТП являются непромышленными, имеют малую потребляемую мощность и постоянный режим потребления электрической энергии. Основными потребителями рассматриваемой выборки ТП являются МКД, ДОУ и СОШ, насосные станции и пункты питания наружного освещения. Все ТП рассматриваемой выборочной совокупности являются двухтрансформаторными, блочно-комплектного типа (БКТП), предназначенного для использования в системах электроснабжения жилищно-коммунальных, промышленных и других объектов в городах, а также строительных площадок и небольших коттеджных поселков. Класс напряжения на стороне высшего напряжения подстанций 10 (6) кВ, на стороне низшего напряжения подстанций 0,4 кВ. ТП имеют мощности силовых трансформаторов 630, 1000, 1250 и 1600 кВА. Для всех ТП сформирована база данных по графикам нагрузки за период наблюдения с 1.11.2021 г. по 31.07.2023 г.

На рисунке 2 приведена гистограмма, характеризующая распределение времени максимальной нагрузки ТП в течение суток. Также для удобства анализа приведено среднее время пиковых нагрузок ТП, питающих только МКД.

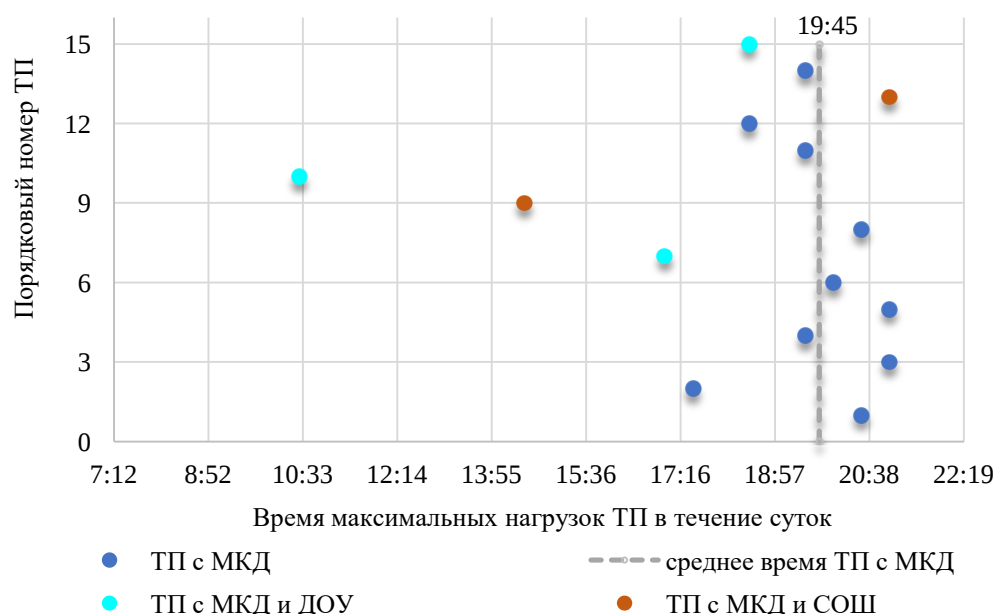


Рис. 2. Распределение времени максимальной нагрузки ТП в течение суток

Fig. 2. Distribution of the time of maximum load of transformer substations during the day

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

Из рисунка 2 видно, что время максимальных нагрузок ТП, питающих однородную нагрузку (МКД), находится в диапазоне с 17:30 до 21:00 часов со средним значением 19:45.

Время максимальных нагрузок ТП со смешанным питанием, в составе потребителей которых есть ДОУ и СОШ, не совпадает со временем максимальных нагрузок подстанций, питающих только МКД (рис. 2). Время пиковых нагрузок таких ТП может смещаться на день и утро.

На основе результатов исследования графиков нагрузки ТП, подстанции жилых комплексов были разбиты на группы по типам потребителей, получающих от них питание: группа подстанций с однородной нагрузкой, питающих только МКД; группа подстанций со смешанным питанием потребителей различного назначения (МКД и образовательных учреждений).

На рисунке 3 показано распределение величины максимальной нагрузки всех

объектов рассматриваемых выборочных совокупностей в течение суток. По рисунку 3 видно, что максимумы нагрузки ДООУ и СОШ совпадают по времени и наблюдаются в утренние часы, в отличие от МКД, для которых максимальная нагрузка наблюдается вечером. Время максимумов нагрузки ТП, питающих только МКД, преимущественно совпадает по времени с максимумами жилых домов.

Можно отметить, что присутствие нагрузки образовательных учреждений в нагрузке ТП смещает время максимальной нагрузки таких подстанций с вечернего на дневной период. Но основную долю нагрузки таких ТП исследуемой выборки составляет нагрузка МКД.

Результаты расчетов максимальной нагрузки за период наблюдения выборочной совокупности ТП с разделением на группы по составу нагрузок демонстрируют, что по величине максимальной нагрузки за период наблюдения выделяются преимущественно месяцы зимнего периода года – декабрь и январь, но у ряда подстанций наблюдаются и летние максимумы, в основном, в июле.

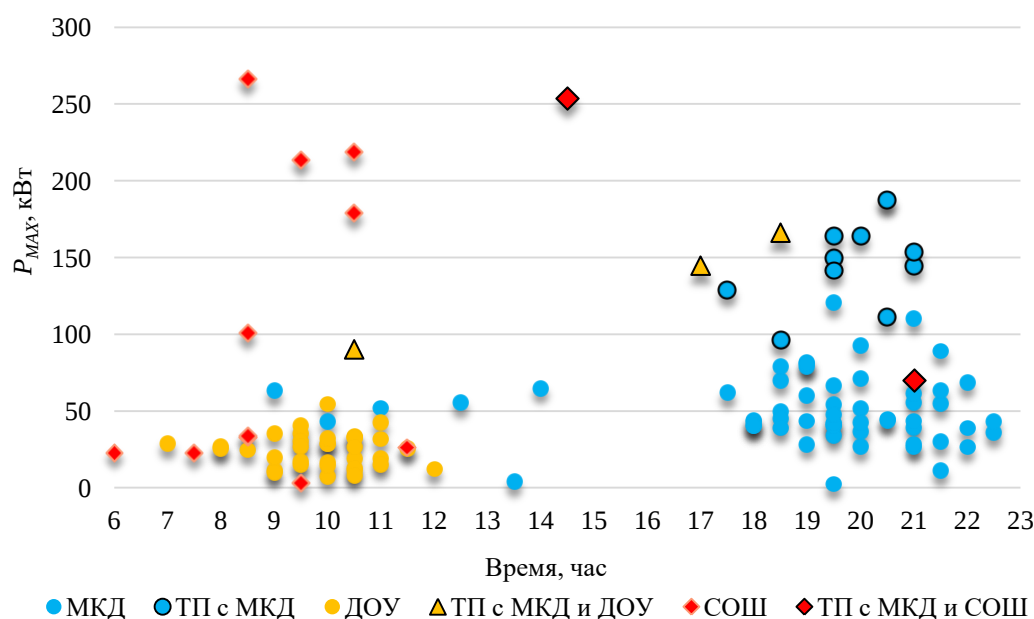


Рис. 3. Распределение максимальной нагрузки в течение суток Fig. 3. Distribution of the maximum load during the day

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

На рисунке 4 показано, какие месяцы календарного года и сколько раз встречаются в диапазоне нагрузки ТП 95% и выше от максимального значения для разных по составу нагрузки групп подстанций.

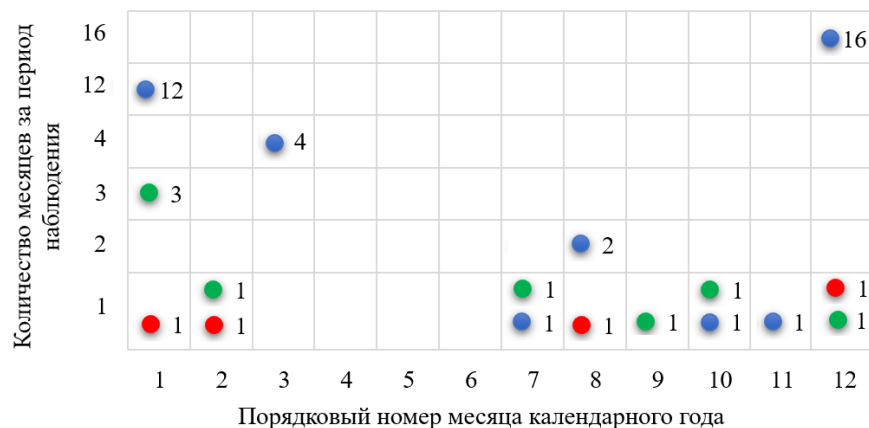


Рис. 4. Распределение максимальной нагрузки по месяцам календарного года Fig. 4. Distribution of maximum load by months of the calendar year

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

На рисунке 4 приняты следующие обозначения: синие маркеры – ТП, питающие МКД; зеленые маркеры – ТП, питающие МКД и ДОУ; красные маркеры – ТП, питающие МКД и СОШ. Подводя итоги, можно сделать вывод, что для группы подстанций, питающих МКД, основная нагрузка наблюдалась в зимние месяцы календарного года – декабрь и январь. Но также нужно принимать во внимание, что для одной ТП максимальное значение нагрузки подстанции достигла летом – в июле. У группы подстанций, питающих МКД и ДОУ, максимальная нагрузка подстанций преимущественно наблюдалась в январе.

Как было показано выше, для группы ТП, питающих МКД, максимальная нагрузка за месяцы календарного года наблюдалась в январе, декабре и июле. Эти месяцы принимаем в качестве характерных месяцев максимального электропотребления данной группы подстанций. Для группы подстанций, питающих МКД и ДОУ, предварительно принимаем в качестве характерных периодов месяцы: январь, февраль, июль, сентябрь, октябрь, декабрь. Для группы подстанций, питающих МКД и СОШ, предварительно в качестве характерных периодов принимаем месяцы: январь, февраль, август и декабрь.

За характерные месяцы года для групп ТП было определено суточное электропотребление. На рисунке 5 для примера приведены результаты расчетов распределения суточного электропотребления групп подстанций по рабочим и выходным дням недели характерных месяцев года для ТП, питаемых только МКД. Также на рисунке 5 показаны линии тренда, характеризующие изменение суточного электропотребления подстанций по рабочим (синий цвет) и выходным (красный цвет) дням недели.

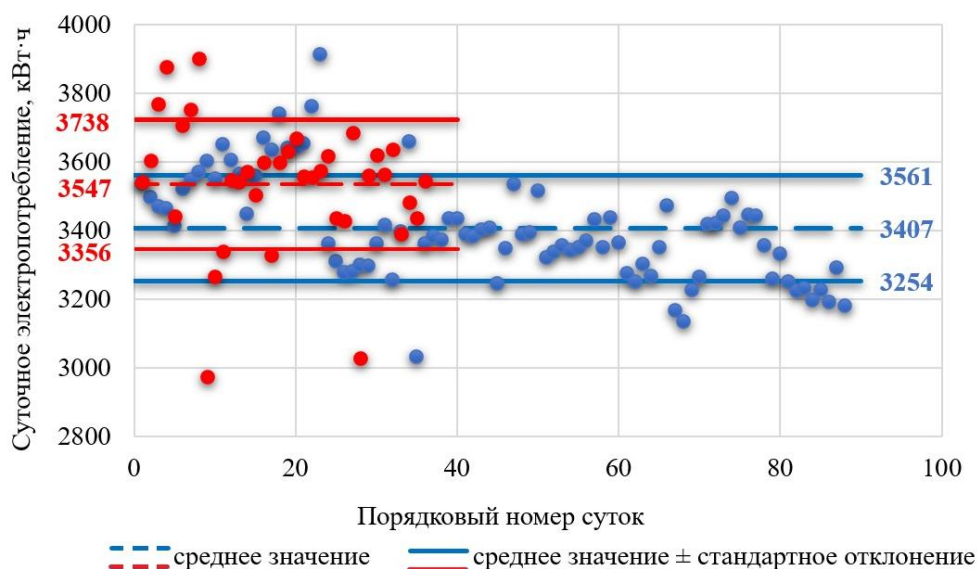


Рис. 5. Точечная диаграмма максимального электропотребления группы ТП, питающих только МКД, по дням недели

Fig. 5. Scatter diagram of maximum power consumption of a group of transformer substations supplying only apartment buildings by days of the week

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

Электропотребление служит интегральной оценкой уровня потребляемой мощности на длительных временных интервалах. Являясь весьма простым инструментом, тем не менее, оно позволяет выявлять тренды изменения нагрузок и при этом достаточно легко получить и обработать исходную информацию. Месячные интервалы наблюдения предоставляют информацию, какие именно периоды характерны высокими нагрузками и соответственно служат основой для детальных измерений графиков нагрузки. Суточные наблюдения позволяют выявить на ранней стадии, есть ли необходимость в формировании отдельных групп графиков нагрузки по рабочим дням недели, субботам и воскресеньям в зависимости от типа потребителей и их сочетаний (МКД, ДОУ, СОШ).

Анализ электропотребления по дням недели выявил, что для группы ТП, питающих МКД, наблюдается тенденция к росту электропотребления в выходные дни (рис. 5). Диапазон разницы электропотребления для подстанций данной группы составляет от 0,14 до 6,58%. Т.е. для МКД оправдано деление недели на рабочие и выходные дни. И последние должны служить основой для снятия суточных графиков нагрузки, по которым будет оцениваться требуемая мощность ТП. Для группы подстанций, питающих МКД и

образовательные учреждения, диапазон разницы электропотребления составляет от 1,91 до 11,75%, с ожидаемым снижением электропотребления на все выходные дни.

За характерные месяцы года для групп ТП была определена максимальная нагрузка за каждые сутки периода наблюдения. На рисунках 6-8 приведены точечные диаграммы, характеризующие распределение максимальной нагрузки группы подстанций, по рабочим (синий цвет) и выходным (красный цвет) дням недели характерных месяцев года.

По рисункам 6-8 можно сделать вывод, что наблюдается разница средней нагрузки ТП в рабочие и выходные дни. Но эта разница отличается по значению для разных групп подстанций.

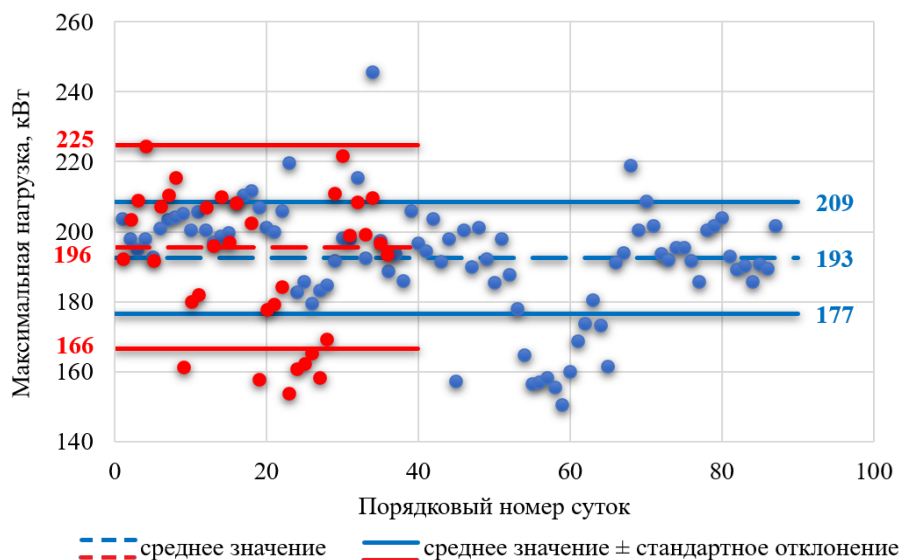


Рис. 6. Точечная диаграмма максимальной нагрузки группы ТП, питающих только МКД, по дням недели

Fig. 6. Scatter diagram of maximum load of a group of transformer substations, feeding only apartment buildings by days of the week

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

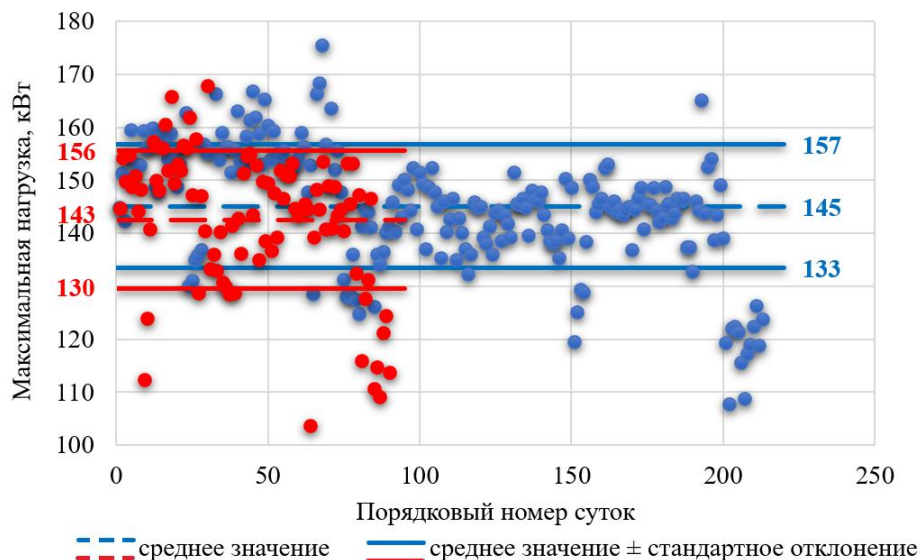


Рис. 7. Точечная диаграмма максимальной нагрузки группы ТП, питающих МКД и ДОУ, по дням недели

Fig. 7. Scatter diagram of maximum load of a group of transformer substations, feeding apartment buildings and kindergartens by days of the week

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

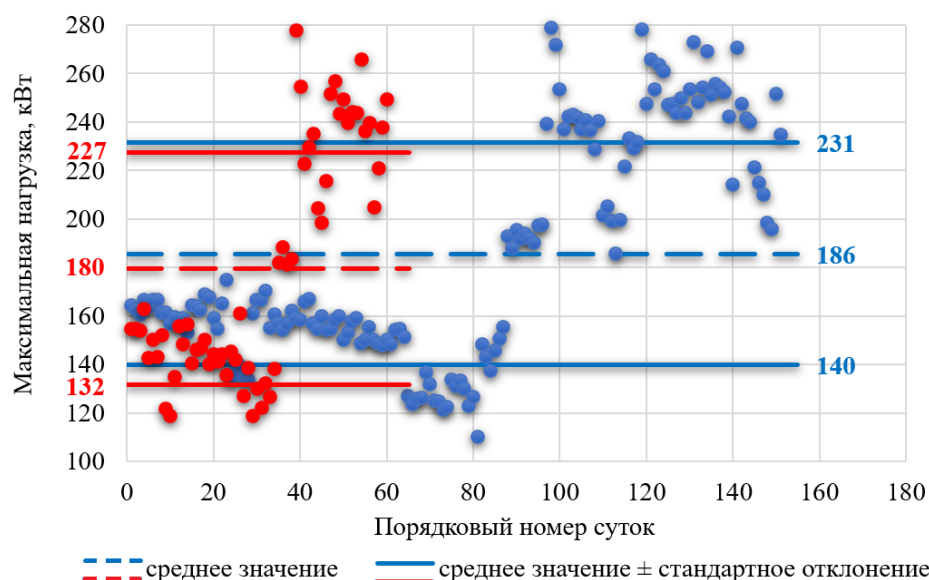


Рис. 8. Точечная диаграмма максимальной нагрузки группы ТП, питающих МКД и СОШ, по дням недели

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

Результаты (Results)

У группы подстанций, питающих МКД, преимущественно наблюдалось увеличение нагрузки в выходные дни. Диапазон увеличения нагрузки в выходные дни у подстанций группы составлял от 1 до 3%.

Средняя нагрузка выходных дней характерных месяцев для группы подстанций, питающих МКД и ДОУ, ниже нагрузок рабочих дней недели. Диапазон разницы нагрузки рабочих и выходных дней для подстанций рассматриваемой группы – от 2 до 12%.

Расчет разницы между средней нагрузкой рабочих и выходных дней характерных месяцев для группы ТП, питающих МКД и СОШ, не превышает 4%. При этом нагрузка в воскресные дни у ТП группы больше нагрузки чем в субботние дни.

Разрабатываемая методика суммирования на шинах подстанции различных нагрузок должна учитывать фактор возможности сочетания максимальной нагрузки МКД, приходящейся на лето, с объектами, оснащаемыми бытовыми или промышленными кондиционерами.

Обсуждение (Discussions)

Максимальные значения нагрузки определяют сечения питающих кабелей и номинальную мощность трансформаторов. Для основной части группы подстанций, питающих МКД, основная нагрузка за период наблюдения с 1.11.2021 по 31.07.2023 гг. фиксировалась в зимние месяцы календарного года – декабрь и январь. Поскольку в МКД входила и коммерческая нагрузка, при разработке методики суммирования на шинах подстанции различных нагрузок необходимо учитывать фактор возможности сочетания максимальной нагрузки МКД, приходящейся на лето, с объектами, оснащаемыми бытовыми или промышленными кондиционерами.

Максимальные нагрузки ТП, питающих МКД и ДОУ, а также МКД и СОШ, приходится на рабочие дни. Расчетная нагрузка таких ТП должна суммироваться с нагрузкой МКД в рабочие дни с учетом дневного максимума нагрузки образовательных учреждений для чего необходимо предусмотреть корректирующий коэффициент.

Выводы (Conclusions)

Анализ электропотребления и величины нагрузки в различные периоды времени года на подстанциях, питающих МКД, МКД и ДОУ, МКД и СОШ, показал следующее: преимущественно нагрузка МКД приходится на выходные зимние дни, по которым должна выполняться проверка разрабатываемой методики суммирования нагрузок на шинах подстанций. Максимальная нагрузка МКД приходится на вечерние часы. В этой связи можно не рассматривать отдельно субботний режим работы СОШ, т.к. нагрузка их ниже, чем в рабочие дни, и суммирование с нагрузкой МКД будет выполняться за рабочие дни.

Максимальные нагрузки подстанций, питающих МКД и ДОУ, а также МКД и СОШ, приходится на зимние месяцы. ДОУ работают с двумя выходными днями, и их

расчетная нагрузка должна суммироваться с нагрузкой МКД в рабочие дни с учетом дневного максимума нагрузки ДОУ. Поскольку 31 декабря ДОУ и СОШ не работают, целесообразно предусмотреть корректирующий коэффициент для расчетной нагрузки МКД, при её суммировании с нагрузкой ДОУ и СОШ. Тем самым будет учтено, что удельные нагрузки МКД в СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» вводились исходя из её замеров на 31 декабря.

Также следует дополнительно использовать информацию о суточных графиках нагрузки СОШ с двухсменным режимом работы, т.к. при проектировании СОШ ориентируются на односменный режим работы, но по факту может вводиться вторая смена. Поэтому не целесообразно вводить в нормативные документы отдельную категорию «количество смен в СОШ».

Литература

1. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я., и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // *Электричество*. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.
2. 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.
3. 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.
4. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Солуянов В. И., и др. Выбор зарядных станций, согласованный с действующими системами электроснабжения многоквартирных домов и образовательных учреждений мегаполиса // *Электричество*. 2025. № 1. С. 32-44. DOI 10.24160/0013-5380-2025-1-32-44. EDN НОСОСВ.
5. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р., и др. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // *Электрические станции*. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.
6. Солуянов В. И., Солуянов Ю. И., Федотов А. И., и др. Разработка изменений в строительный свод правил в части актуализации удельных расчетных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2023. Т. 25. № 6. С. 89-100. DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-6-89-100. EDN EMZZMR.
7. 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.
8. Грачева Е. И., Наумов О. В., Садыков Р. Р. Учет холостого хода трансформаторов в период эксплуатации при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2016. № 1-2. С. 53-63. EDN VXLFSB.
9. Юндин М., Пономаренко Т., Юндин К. Анализ сверхнормативных потерь мощности в силовых трансформаторах 10/0,4 кВ, имеющих нагрузку с преобладанием нелинейных потребителей // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2021. № S1(20). С. 6-12. EDN HJJBUL.
10. Надтока И. И., Павлов А. В. Расчёты электрических нагрузок жилой части многоквартирных домов с электрическими плитами, основанные на средних нагрузках квартир // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. 2014. № 3. С. 36-39. EDN SIAKJT.
11. Надтока И. И., Звозникова И. А., Васильев Г. П. и др. Анализ основных закономерностей в электропотреблении жилой части многоквартирных домов в Московском регионе // *Промышленная энергетика*. 2023. № 11. С. 21-27. DOI 10.34831/EP.2023.71.11.003. EDN KKRRBA.
12. Надтока И. И., Звозникова И. А. Оценка вклада взаимной корреляции индивидуальных графиков в дисперсию суммарного графика электрической нагрузки // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. 2023. Т. 66, № 4. С. 136-143. DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-136-143. EDN KGYBDW.
13. Надтока И. И., Звозникова И. А., Туруткин С. Ю. и др. Влияние длительности интервала измерений потребления электроэнергии на точность определения максимальной нагрузки по нагреву // *Промышленная энергетика*. 2022. № 12. С. 21-25. DOI 10.34831/EP.2022.36.20.003. EDN CEOPYU.
14. Вялкова С. А., Надтока И. И. Прогнозирование суточных графиков активной мощности мегаполиса с учетом прогнозных данных естественной освещенности // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. 2020. Т. 63, № 5. С. 67-71. DOI 10.17213/0136-3360-2020-5-67-71. EDN NCCLFU.

15. Таваров С. Ш., Сидоров А. И., Суворов И. Ф. и др. Метод прогнозирования и расчёта электрической нагрузки коммунально-бытовых потребителей в условиях неопределённости // *iPolytech Journal*. 2023. Т. 27, № 3. С. 565-573. DOI 10.21285/1814-3520-2023-3-565-573. EDN TVYZCE.
16. Морсин И. А., Шведов Г. В. Формирование электрических нагрузок на шинах вводного распределительного устройства современных многоквартирных домов // *Промышленная энергетика*. 2023. № 7. С. 22-29. DOI 10.34831/EP.2023.39.42.003. EDN COUNZV.
17. Соловьева А. С., Шведов Г. В. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2023. Т. 23, № 1. С. 27-37. DOI 10.14529/power230103. EDN WNEGUM.
18. Савина Н. В., Лисогурская Л. Н., Лисогурский И. А. Накопители электрической энергии как средство повышения надёжности и экономичности функционирования электрической сети // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2020. № 2-1(92). С. 63–70.
19. Илюшин П. В. Повышение надёжности функционирования распределительных электрических сетей за счет эффективного применения систем накопления электроэнергии // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2022. № 6(75). С. 64–74.
20. Суворов А. А., Илюшин П. В. Модернизация алгоритма виртуального синхронного генератора для управления системой накопления электроэнергии в микросети // *Электричество*. 2024. № 7. С. 14-29.
21. Лоскутов А. Б., Соснина Е. Н., Лоскутов А. А. и др. Интеллектуальные распределительные сети 10–20 кВ с гексагональной конфигурацией // *Промышленная энергетика*. 2013. № 12. С. 3–7.
22. Лоскутов А.Б., Лоскутов А.А., Зырин Д.В. Разработка и исследование гибкой интеллектуальной электрической сети среднего напряжения, основанной на гексагональной структуре // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2016. №3 (114). С. 85–94.
23. Лоскутов А. Б., Соснина Е. Н., Лоскутов А. А. и др. Городские распределительные сети 10–20 кВ с гексагональной конфигурацией // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2013. № 5(102). С. 309–315.
24. Соснина Е. Н., Липужин И. А., Крюков Е. В. Перспективы внедрения гексагональных распределительных электрических сетей // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 4(27). С. 67.
25. Кудрин Б. И. Расчет электрических нагрузок потребителей: история, состояние, комплексный метод // *Промышленная энергетика*. 2015. № 5. С. 14-22.
26. Клюев Р. В. Системный анализ методов расчета систем электроснабжения карьеров // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2024. Т. 16. № 1(59). С. 302-310.
27. Zhang X., He Y., Li X. A simplified method for calculating air conditioning load of multi-family housing community considering the spatiotemporal distribution of occupants // *Energy and Buildings*. 2024. Vol. 324. Article number 114888. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114888.
28. Kim H., Park S., Kim S. Time-series clustering and forecasting household electricity demand using smart meter data // *Energy Reports*. 2023. Vol. 9. P. 4111 – 4121. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.03.042.
29. Softah W., Tafakori L., Song H. Analyzing and predicting residential electricity consumption using smart meter data: A copula-based approach // *Energy and Buildings*. 2025. Vol. 332. Article number 115432. DOI: 10.1016/j.enbuild.2025.115432.
30. Suresh M., Anbarasi M. S. Interactive search algorithm of artificial intelligence for household classification on smart electricity meter data // *International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation*. 2022. Vol. 13. Iss. 3. P. 183 – 193. DOI: 10.1504/IJESMS.2022.123952.
31. Xu R., Li X. D., Huang L. A deep learning method for household characteristic classification from smart meter data // *2nd International Conference on Electronic Materials and Information Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 937 – 941.

Авторы публикации

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, Россия. 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, г. Казань, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>. Email: ahmetshin.ar@mail.ru

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

Кулаков Виктор Николаевич – аспирант кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань, Россия. Email: viktor.nikolaevich.kulakov@mail.ru

References

1. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Galitsky YuYa, et al. Updating the standard values of the specific electrical load of apartment buildings in the Republic of Tatarstan. *Electricity*. 2021; 6:62-71. (In Russ). doi: 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71
2. 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. (In Russ). doi: 10.24160/0013-5380-2023-7-52-65
3. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Analysis of specific electrical loads of cottage villages. *Electricity*. 2024; 4:36-50. (In Russ). doi: 10.24160/0013-5380-2024-4-36-50
4. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Soluyanov VI, et al. Selection of charging stations, coordinated with the existing power supply systems of apartment buildings and educational institutions of a megalopolis. *Electricity*. 2025; 1:32-44. (In Russ). doi: 10.24160/0013-5380-2025-1-32-44
5. Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR, et al. Results of statistical analysis of electrical loads of apartment buildings in Moscow. *Electric stations*. 2023; 1099(2):22-28. (In Russ).
6. Soluyanov VI, Soluyanov YuI, Fedotov AI, et al. Development of amendments to the building code of rules in terms of updating the specific calculated electrical loads of apartment buildings. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2023; 25(6):89-100. (In Russ). doi: 10.30724/1998-9903-2023-25-6-89-100
7. 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).
8. Gracheva EI, Naumov OV, Sadykov RR. Accounting for idle waste of transformers during operation when calculating electricity losses in distribution networks. *Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS*. 2016;(1-2):53-63. (In Russ).
9. Yundin M, Ponomarenko T, Yundin K. Analysis of excess power losses in 10/0.4 kV power transformers with a load dominated by nonlinear consumers. *Electric power. Transmission and Distribution*. 2021; 20(S1):6-12. (In Russ).
10. Nadtoka II, Pavlov AV. Calculations of electrical loads in the residential part of apartment buildings with electric stoves based on average apartment loads. *Bulletin of higher educational institutions. Electromechanics*. 2014; 3:36-39. (In Russ).
11. Nadtoka II, Zvoznikova IA, Vasiliev GP, et al. Analysis of the main patterns in electricity consumption in the residential part of apartment buildings in the Moscow Region. *Industrial Power Engineering*. 2023; 11:21-27. (In Russ). doi: 10.34831/EP.2023.71.11.003
12. Nadtoka II, Zvoznikova IA. Evaluation of the contribution of mutual correlation of individual graphs to the variance of the total graph of electrical load. *Bulletin of higher educational institutions. Electromechanics*. 2023. Vol. 66, No. 4. Pp. 136-143. (In Russ). doi: 10.17213/0136-3360-2023-4-136-143
13. Nadtoka II, Zvoznikova IA, Turutkin SYu, et al. Influence of the duration of the interval of electricity consumption measurements on the accuracy of determining the maximum heating load. *Industrial Power Engineering*. 2022; 12:21-25. (In Russ). doi: 10.34831/EP.2022.36.20.003
14. Vyalkova SA, Nadtoka II. Forecasting daily schedules of active power of a megalopolis taking into account forecast data of natural illumination. *Bulletin of higher educational institutions. Electromechanics*. 2020; 63(5):67-71. (In Russ). doi: 10.17213/0136-3360-2020-5-67-71
15. Tavarov SSh, Sidorov AI, Suvorov IF, et al. Method of forecasting and calculating the electrical load of public utilities under uncertainty. *iPolytech Journal*. 2023; 27(3):565-573. (In Russ). doi: 10.21285/1814-3520-2023-3-565-573
16. Morsin IA, Shvedov GV. Formation of electrical loads on the buses of the input distribution device of modern apartment buildings. *Industrial Power Engineering*. 2023; 7:22-29. (In Russ). doi: 10.34831/EP.2023.39.42.003
17. Solovieva AS, Shvedov GV. Comparative analysis of winter and summer schedules of electrical loads on working and weekend days in apartment buildings with electric stoves in the power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2023; 23(1):27-37. (In Russ). doi: 10.14529/power230103
18. Savina NV, Lisogurskaya LN, Lisogursky IA. Electric energy storage devices as a means of increasing the reliability and efficiency of the electric grid. *International Research Journal*. 2020; 92(2-1):63-70. (In Russ).
19. Ilyushin PV. Improving the reliability of distribution electric networks through the efficient use of electricity storage systems. *Electric Power. Transmission and Distribution*. 2022; 75(6):64-74. (In Russ).

20. Suvorov AA, Ilyushin PV. Modernization of the algorithm of a virtual synchronous generator for controlling the electric power storage system in a microgrid. *Electricity*. 2024; 7:14-29. (In Russ).
21. Loskutov AB, Sosnina EN, Loskutov AA, et al. Intelligent distribution networks of 10-20 kV with a hexagonal configuration. *Industrial Power Engineering*. 2013; 12:3-7. (In Russ).
22. Loskutov AB, Loskutov AA, Zyrin DV. Development and study of a flexible intelligent medium-voltage electric grid based on a hexagonal structure. *Proceedings of NSTU named after R. E. Alekseev*. 2016; 114(3):85-94. (In Russ).
23. Loskutov AB, Sosnina EN, Loskutov AA, et al. Urban distribution networks 10-20 kV with hexagonal configuration. *Proceedings of NSTU named after R. E. Alekseev*. 2013; 102(5):309–315. (In Russ).
24. Sosnina EN, Lipuzhin IA, Kryukov EV. Prospects for the implementation of hexagonal distribution electrical networks. *Engineering Bulletin of the Don*. 2013; 27(4):67. (In Russ).
25. Kudrin BI. Calculation of consumer electrical loads: history, status, and integrated method. *Industrial Power Engineering*. 2015; 5:14–22. (In Russ).
26. Klyuev RV. Systems analysis of methods for calculating power supply systems for quarries. *Sustainable development of mountainous territories*. 2024; 59(1):302-310. (In Russ). doi: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-302-310
27. Zhang X, He Y, Li X. A simplified method for calculating air conditioning load of multi-family housing community considering the spatiotemporal distribution of occupants. *Energy and Buildings*. 2024; 324:114888. doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114888
28. Kim H, Park S, Kim S. Time-series clustering and forecasting household electricity demand using smart meter data. *Energy Reports*. 2023; 9:4111-4121. doi: 10.1016/j.egyr.2023.03.042
29. Softah W, Tafakori L, Song H. Analyzing and predicting residential electricity consumption using smart meter data: A copula-based approach. *Energy and Buildings*. 2025; 332:115432. doi: 10.1016/j.enbuild.2025.115432
30. Suresh M, Anbarasi MS. Interactive search algorithm of artificial intelligence for household classification on smart electricity meter data. *International Journal of Engineering Systems Modeling and Simulation*. 2022;13(3):183-193. doi: 10.1504/IJESMS.2022.123952
31. Xu R, Li XD, Huang L. A deep learning method for household characteristic classification from smart meter data. *2nd International Conference on Electronic Materials and Information Engineering*. 2022; 2:937-941.

Authors of the publication

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

Viktor N. Kulakov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: viktor.nikolaevich.kulakov@mail.ru

Шифр научной специальности: 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Получено 16.01.2025 г.

Отредактировано 19.02.2025 г.

Принято 15.03.2025 г.