



РАЗРАБОТКА ИЗМЕНЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ СВОД ПРАВИЛ В ЧАСТИ АКТУАЛИЗАЦИИ УДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Солуянов^{1,2,*} В.И., Солуянов^{1,2,3} Ю.И., Федотов^{1,3} А.И., Ахметшин^{1,3} А.Р.

¹Ассоциация «Росэлектромонтаж», г. Москва, Россия

²АО «Татэлектромонтаж», г. Казань, Россия

³Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-0004-7509>, vs@tatem.ru

Резюме. ЦЕЛЬ. Разработать изменения в строительный свод правил в части актуализации удельных расчетных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов. Выполнить сравнительный анализ мощности технологического присоединения многоквартирных жилых домов, рассчитанной по нормативно-техническим документам и по разработанным на основе фактических измеренных данных с оценкой эффекта от актуализации удельных расчетных электрических нагрузок. МЕТОДЫ. При выполнении поставленной цели были использованы математические и статистические методы анализа. РЕЗУЛЬТАТЫ. Выполнена статистическая обработка удельной электрической нагрузки квартир многоквартирных жилых домов Московской области кластера 11–18 этажей за двадцать три месяца 2021 – 2023 гг., которая позволила сформировать статистически значимые выборки путем исключения из них выбросов и получить их базовую описательную статистику. На основании полученных результатов разработаны изменения в нормативно-технический документ в части актуализации удельных расчетных электрических нагрузок квартир многоквартирных жилых домов Московской области кластера 11 – 18 этажей. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение актуализированных значений удельной расчетной электрической нагрузки приведет к выбору силовых трансформаторов с оптимальной загрузкой, что, с одной стороны, сократит «запертую электрическую мощность», вследствие чего уменьшатся потери электроэнергии, а с другой стороны, снизит затраты на технологическое присоединение.

Ключевые слова: удельные расчетные электрические нагрузки; электроснабжение; запертая электрическая мощность; резервная электрическая мощность; проектирование жилых зданий.

Для цитирования: Солуянов В.И., Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. 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.

DEVELOPMENT OF CHANGES TO THE CONSTRUCTION CODE OF RULES IN PART OF UPDATED SPECIFIC ELECTRICAL LOADS

Soluyanov^{1,2,*} V.I., Soluyanov^{1,2,3} Yu.I., Fedotov^{1,3} A.I., Akhmetshin^{1,3} A.R.

¹Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia

²JSC «Tatelektromontazh», Kazan, Russia

³Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-0004-7509>, vs@tatem.ru

Abstract. THE PURPOSE. Develop changes to the building code of rules regarding updating the specific calculated electrical loads of multi-apartment residential buildings. Perform a comparative analysis of the power of technological connection of multi-apartment residential buildings, calculated according to regulatory and technical documents and according to those developed on the basis of actual measured data with an assessment of the effect of updating

specific design electrical loads. METHODS. To achieve this goal, mathematical and statistical methods of analysis were used. RESULTS. Statistical processing of the specific electrical load of apartments in multi-apartment residential buildings in the Moscow region of a cluster of 11–18 floors for twenty-three months of 2021–2023 was carried out, which made it possible to form statistically significant samples by excluding outliers from them and obtaining their basic descriptive statistics. Based on the results obtained, changes were developed to the regulatory and technical document in terms of updating the specific calculated electrical loads of apartments in multi-apartment residential buildings in the Moscow region of the cluster 11 - 18 floors. CONCLUSION. The introduction of updated values of the specific calculated electrical load will lead to the selection of power transformers with optimal loading, which, on the one hand, will reduce the “locked electrical power”, resulting in reduced electricity losses, and on the other hand, will reduce the cost of technological connection.

Keywords: *specific design electrical loads; power supply; locked electrical power; standby electrical power; design of residential buildings.*

For citation: Soluyanov V.I., Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R. Development of changes to the building code of rules regarding the updating of specific calculated electrical loads of multi-apartment residential buildings. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2023; 25 (6): 89-100. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-6-89-100.

Введение (Introduction)

С каждым годом в Российской Федерации (РФ) увеличивается объем вводимых многоквартирных жилых домов (МКД), рисунке 1, в соответствии с указами Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»¹. Поэтому актуальным является проведение работ по совершенствованию и созданию нормативной технической базы в сфере оптимизации проектных и электромонтажных работ в гражданском строительстве.

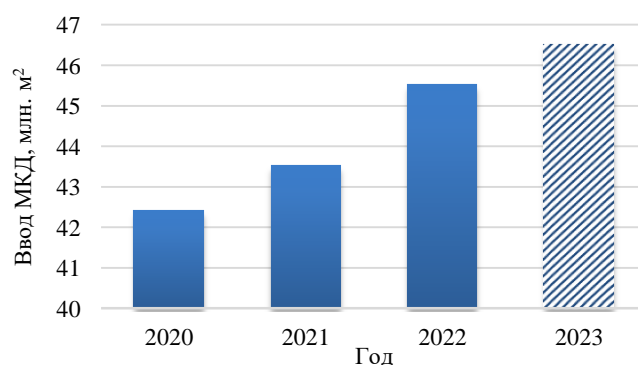


Рис. 1. Ввод МКД в РФ

Fig. 1. Commissioning of multi-apartment residential buildings in the Russian Federation

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Совершенствование нормативной базы² в части обновления значений удельных расчетных электрических нагрузок (УРЭН) является актуальной задачей в жилищном строительстве [1-10].

Использование устаревших значений УРЭН в жилищном строительстве привело к тому, что трансформаторные подстанции (ТП) загружены в среднем не более 45% [1-3], к примеру, в Московской области (МО) 42 % ТП имеют коэффициент загрузки (k_z) менее 30% (рис. 2).

Невысокая загрузка ТП (рис. 2) свидетельствует о необходимости пересмотра нормативных значений УРЭН. Решение этой задачи приведет к оптимальной загрузке ТП, что, с одной стороны, сократит «запертую электрическую мощность», вследствие чего уменьшатся потери электроэнергии [11-13], а с другой стороны, снизит затраты на технологическое присоединение [1-3].

¹ Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»

² СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (с Изменениями № 1-5)

Своевременная актуализация действующих нормативно-технических документов (НТД)² в части УРЭН необходима вследствие:

- улучшения класса энергопотребления бытовой техники до А++ (разница в электропотреблении между классом G и А++ составляет 75%)³;
- улучшения показателей удельного расхода тепловой и электроэнергии в МКД до 40% (с 2023 г.) и до 50% (с 2028 г.)⁴;
- внедрение энергосервисных договоров, предусматривающих осуществление полного комплекса работ по внедрению энергосберегающих решений специализированной энергосервисной компанией, что позволяет сократить потребление электрической энергии от 40 до 60%.

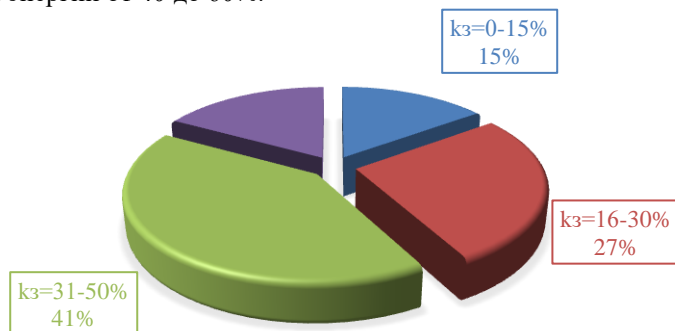


Рис. 2. Коэффициент загрузки ТП МО

Fig. 2. Loading of transformer substations in the Moscow region

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Внедрение интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ИПУЭЭ) позволяет реализовать научно-исследовательскую работу (НИР) по актуализации УРЭН на основании фактических данных [14-17]. Современные МКД имеют возможность полного автоматизированного сбора информации (АСИ) по всем видам коммунальных услуг. Для примера представлена принципиальная схема автоматизированного сбора информации для одного из МКД МО, рисунке3.

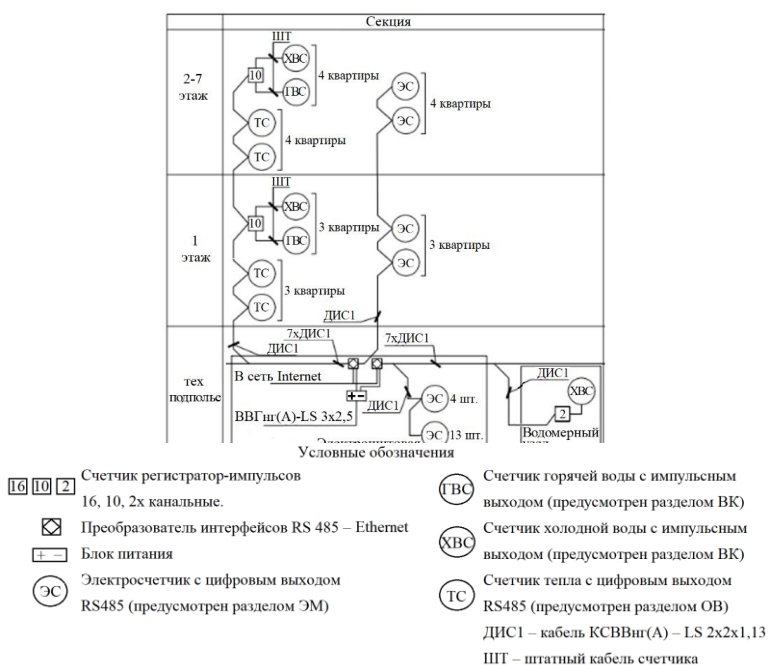


Рис. 3. Принципиальная схема АСИ по всем видам коммунальных услуг

Fig. 3. Schematic diagram of automated collection of information on all types of public services

³ Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года)

⁴ Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 06.06.2016 № 399/пр «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов»

Литературный обзор (Literature Review)

Проблема, связанная с расхождением фактически измеренных и рассчитанных по действующим НТД² электрических нагрузок МКД, неоднократно освещена в отечественной научной литературе.

Исследования, представленные в статье [1], показали, что фактические значения электрической нагрузки МКД в 1,5 - 2,5 раза ниже расчетных, что демонстрирует необходимость пересмотра НТД².

В статье [2] представлено решение данной проблемы на примере Республики Татарстан (РТ) путем актуализации УРЭН, что приведет к экономическому эффекту за счет снижения заявленной мощности на технологическое присоединение (уменьшается «запертая электрическая мощность»), как следствие уменьшатся мощности силовых трансформаторов (СТ), сечения питающих кабелей.

Результаты, полученные на основе получасовых графиков электрической нагрузки от ИПУЭЭ квартир МКД МО, представленные в статье [3], показывают обязательность анализа электропотребления МКД с целью выявления коммерческих помещений и неэксплуатируемых квартир на интервале измерений для точности расчета УРЭН МКД.

Проблема повышения точности расчёта электрических нагрузок МКД с квартирами, оснащёнными электроплитами, рассматривается в статье [4], в которой предлагаются методики определения электрических нагрузок квартир с электрическими плитами жилой части МКД. А проблемы расчёта электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей (КБП) микрорайонов мегаполиса с анализом фактических и расчётных значений электрических нагрузок микрорайонов приведены в статье [5-6].

В статье [7] проведены исследования соответствия фактического электропотребления расчетному в жилых комплексах с преобладанием КБП на примере ряда городов Челябинской области (ЧО) за период 2021-2022 гг. Предложен новый показатель - обобщенный коэффициент неопределенности A_i для повышения точности прогноза электропотребления и расчета электрических нагрузок в распределительных электрических сетях с преобладанием КБП ЧО.

Структура нагрузки КБП ВРУ современного МКД представлена в статье [8]. Суммарная максимальная нагрузка в данных МКД, рассчитанная без учета коэффициентов одновременности, может в ряде случаев превосходить нормативную нагрузку [8]. Анализ конфигурации современных графиков нагрузки жилых зданий показал значительное отличие от приведенных в литературных источниках как по наличию и значению характерных минимумов и максимумов, так и по продолжительности характерных периодов в суточном разрезе электрической нагрузки [9].

В статье [10] для актуализации действующих методик определения расчетной нагрузки МКД были получены регрессионные модели, по которым можно определить значение расчетных нагрузок различных категорий нагрузок вводного распределительного устройства (ВРУ) многоквартирного жилого дома (МКД) в зависимости от количества квартир и числа этажей. В результате сформирована математическая модель для определения расчетной нагрузки ВРУ современного МКД.

Многочисленность публикаций, посвящённых анализу электрических нагрузок МКД, подтверждает актуальность темы, затронутой авторами в статье.

Материалы и методы (Materials and methods)

Для статистической обработки суточных профилей электрической нагрузки квартир МКД МО были использованы данные домов типовых проектов кластера 11–18 этажей, введенных в эксплуатацию с 2015–2019 гг. за период с 01 апреля 2021 г. по 28 февраля 2023 г. В МКД были выявлены и исключены малоэксплуатируемые квартиры, с целью повышения точности расчетов [1-3]. В разрезе дня с максимальным потреблением найдено значение максимальной электрической нагрузки, далее максимальной удельной электрической нагрузки квартир МКД.

За день максимального электропотребления в течение декабря 2021 г. и 2022 г. для примера приведены гистограммы распределения (рис. 4), плотность распределения вероятностей, полученная методом «ядерного сглаживания» (рис. 5), а в табл. 1 результаты проверки гипотезы на нормальность распределения [18, 19] максимальной удельной нагрузки квартир МКД МО.

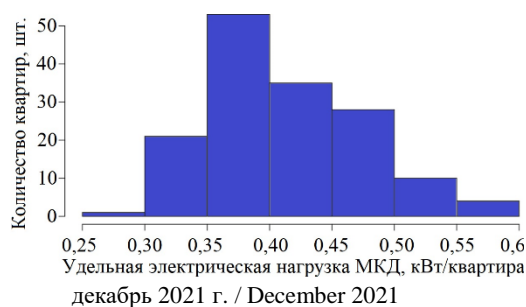


Рис. 4. Гистограмма распределения максимальной удельной нагрузки

*Источник: составлено автором.

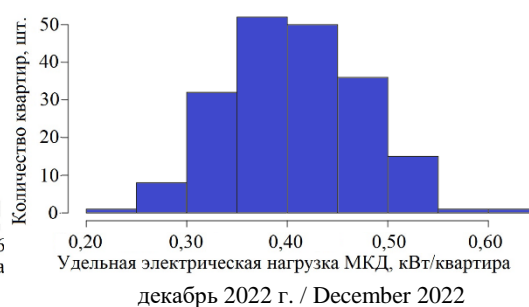


Fig. 4. Histogram of distribution of maximum power density

Source compiled by the author

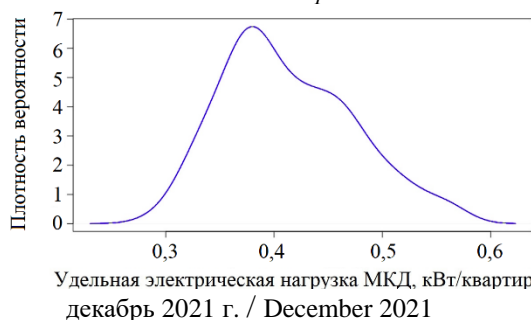


Рис. 5. Плотность распределения вероятностей, полученная методом «ядерного сглаживания»

*Источник: составлено автором.

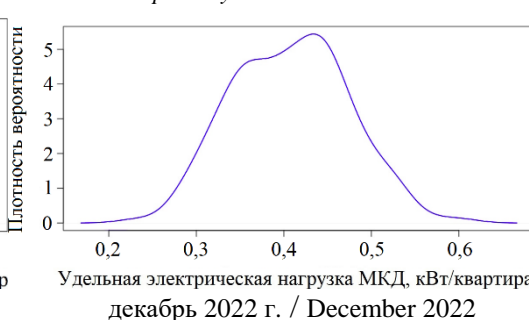


Fig. 5. Probability density distribution obtained by the «kernel smoothing» method

Source compiled by the author

Таблица 1

Table 1

Результаты проверки гипотезы на нормальность распределения максимальной удельной нагрузки квартир МКД

Results of testing the hypothesis for the normality of the distribution of the maximum specific power of apartments in residential buildings

Название теста	Тест Шапиро–Уилка	Тест Лиллие-форса	Тест омега-квадрат	Тест Андерсона-Дарлинга	Тест хи-квадрат Пирсона
декабрь 2021					
Значение p-value	0,69 > 0,05	0,37 > 0,05	0,28 > 0,05	0,37 > 0,05	0,07 > 0,05
декабрь 2022					
Значение p-value	0,74 > 0,05	0,43 > 0,05	0,32 > 0,05	0,43 > 0,05	0,08 > 0,05

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

По результатам за декабрь 2021 г. и декабрь 2022 г., приведенным на рисунках 4 и 5, в табл. 1, можно сделать вывод о том, что максимальная удельная электрическая нагрузка квартир МКД МО подчиняется закону нормального распределения.

В таблице 2 представлены базовые статистические показатели максимальной удельной нагрузки квартир выборки МКД МО после исключения выбросов (для выполнения закона нормального распределения) за день максимального электропотребления в декабре 2021 и 2022 г. Где Q25%, кВт/кв – первый квартиль; Q75%, кВт/кв – третий квартиль; пв - размер выборки (число домов); пср – среднее значение, кВт/кв; пмин - минимальное значение, кВт/кв; пмакс - максимальное значение, кВт/кв; Sd - среднеквадратическое отклонение, кВт/кв; Ме - медиана, кВт/кв.

Расчет минимального объема репрезентативной выборки проведен при допустимой ошибке определения среднего $\pm 5\%$ и доверительной вероятности 95%. Для декабря 2021 г. минимальный объем репрезентативной выборки составил 20 МКД, для декабря 2022 г. – 41 МКД. Так как размер исследуемой выборки больше минимального объема репрезентативной выборки, полученные результаты можно распространить на генеральную совокупность МКД МО.

Базовые статистические показатели

Basic statistics

Месяц декабрь	пв, шт	Q75%, кВт/кв	Q25%, кВт/кв	пмакс, кВт/кв	пср., кВт/кв	пмин, кВт/кв	Sd, кВт/кв	Me, кВт/кв
2021 г.	152	0,56	0,37	0,56	0,41	0,29	0,06	0,40
2022 г.	196	0,45	0,36	0,60	0,41	0,23	0,07	0,41

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Для нахождения диапазона значений удельной нагрузки МКД МО кластера 11 – 18 этажей проведен расчет доверительного интервала для средней удельной нагрузки МКД генеральной совокупности МО данного кластера. Результаты расчета доверительного интервала для средней удельной нагрузки МКД генеральной совокупности МО кластера 11 – 18 этажей за период с 01 апреля 2021 г. по 28 февраля 2023 гг. приведены на рисунке 6.

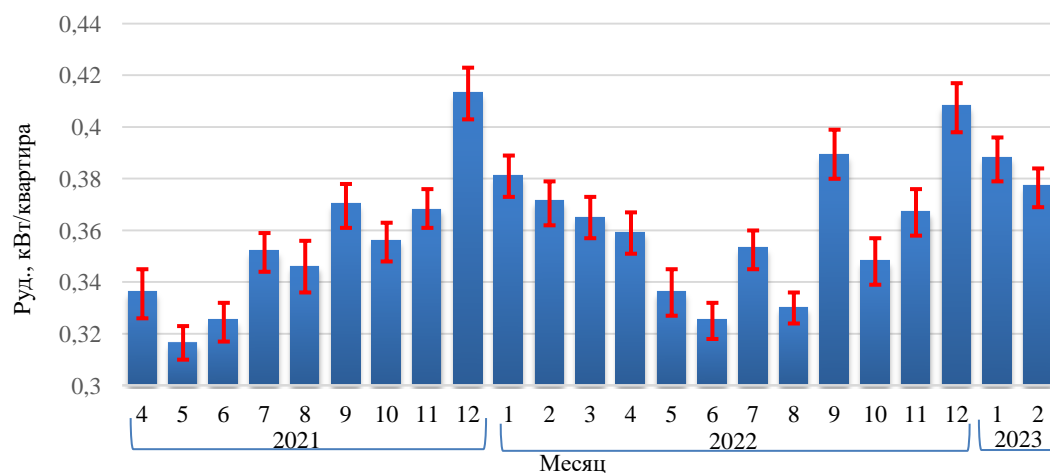


Рис. 6. Доверительный интервал для средней удельной нагрузки МКД генеральной совокупности

Fig. 6. Confidence interval for the average power density of residential buildings in the general population

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Истинное среднее значение удельной нагрузки генеральной совокупности МКД МО (рис. 6), имеет границы 0,403 – 0,423 кВт/квартира (декабрь 2021 г.) и 0,398 – 0,417 кВт/квартира (декабрь 2022 г.), в пределах которого с доверительной вероятностью 95 % находится интервал значений. Среднее выборочное значение 0,413 кВт/квартира (декабрь 2021 г.) и 0,408 кВт/квартира (декабрь 2022 г.).

На рисунке 7 представлено изменение уровня максимальной удельной нагрузки квартир МКД МО кластера 11–18 этажей за период с 1 апреля 2021 г. по 28 февраля 2023 г.

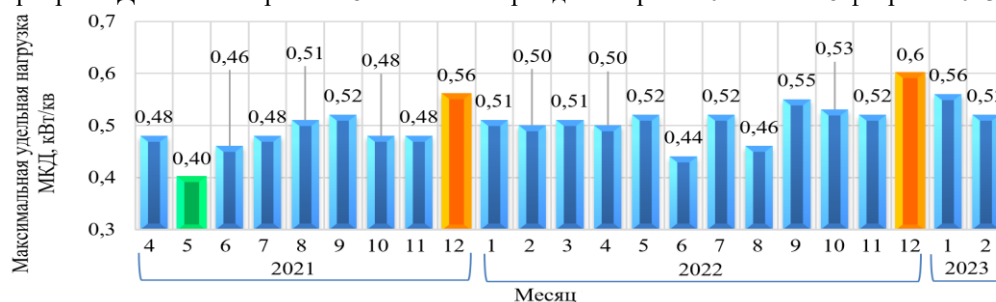


Рис. 7. Максимальная удельная нагрузка квартир МКД за период с 1 апреля 2021 г. по 28 февраля 2023 г.

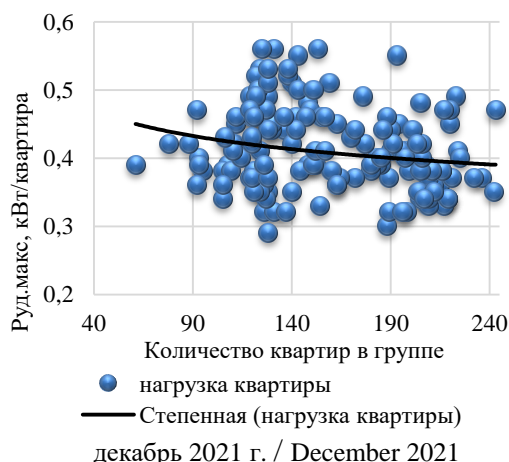
Fig. 7. Maximum specific load of apartments in a residential building for the period from April 1, 2021 to February 28, 2023.

*Источник: составлено автором.

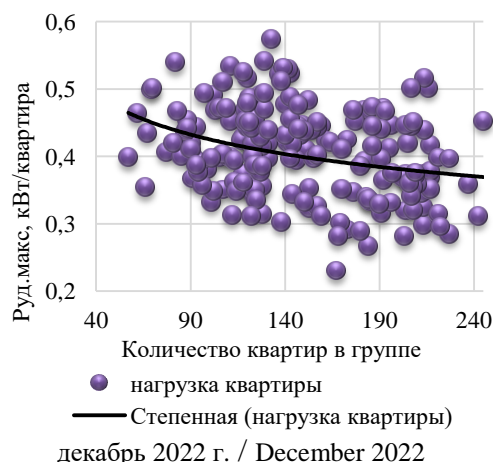
Source compiled by the author

Из расчетов, представленных на рис. 7, видно, что наибольшая электрическая нагрузка выборочной совокупности МКД МО кластера 11 – 18 этажей по данным за период с 1 апреля по 28 февраля 2023 г. наблюдалась в декабре 2022 г. (0,60 кВт/квартира), а в разрезе месяца – 31 декабря 2022 г. (у 69% МКД выборки). Минимальное электропотребление было зафиксировано в мае 2021 г. (0,40 кВт/квартира).

На рис. 8 приведены зависимости максимальной удельной электрической нагрузки от количества квартир, рассчитанные для примера по данным за декабрь 2021 г. и 2022 г.



декабрь 2021 г. / December 2021



декабрь 2022 г. / December 2022

Рис. 8. Зависимость максимальной электрической нагрузки квартиры от их количества в группе

Fig. 8. Dependence of the maximum electrical load of apartments on their number in the group

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Как видно из рисунка 8, удельная электрическая нагрузка квартир в МКД уменьшается при увеличении количества, что объясняется несовпадением максимумов. Значения электрических нагрузок квартир (рис. 8), рассчитанные для периода декабрь 2021 г. и 2022 г., лежат ниже утвержденных значений, приведенных в НТД².

Результаты (Results)

Анализ жилищного строительства РФ демонстрирует, что существует тренд в возведении МКД с числом квартир более 1000, рассчитать электрическую нагрузку для данных МКД затруднительно, поскольку таблица 7.1² ограничивается 1000 квартирами.

В основу расчетов положены выборочные совокупности получасовых графиков электрической нагрузки квартир МКД МО размером 36 804 по кластеру 11 – 18 этажей.

Для расчета УРЭН МКД для более 1000 квартир случайным образом производилась группировка квартир в количестве от 20 до 3000 в группе. Для группы каждого размера формировалось по 100 сочетаний квартир. Для каждой группы квартир определялись сутки с максимальным потреблением за каждый интервал наблюдения. В разрезе этих суток находилась максимальная нагрузка группы квартир и по ней – удельная нагрузка одной квартиры для данной группы. Для каждой группы квартир рассчитано максимальное значение УРЭН, представленное на рисунке 9.

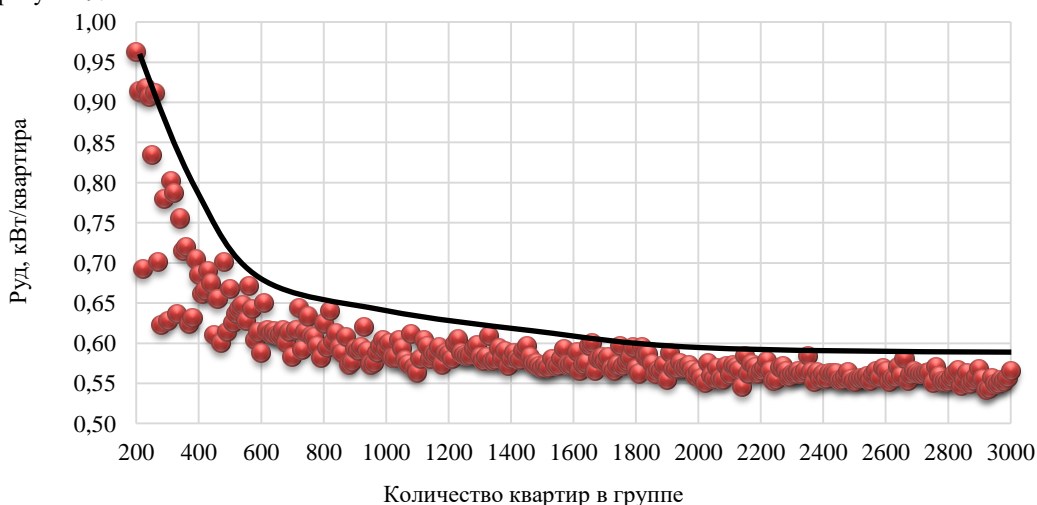


Рис. 9. Зависимость УРЭН от количества квартир в группе

Fig. 9. Dependence of the specific calculated electrical load on the number of apartments in the group

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Использование рисунка 9 позволяет определять соответствующее значение УРЭН одной квартиры для группы с количеством квартир от 200 до 3000.

Поскольку, начиная с 2000 квартир, УРЭН изменяются не значительно, предлагается ограничить таблицу 7.1² 2000 квартирами. На основании выполненной НИР разработан проект изменения в НТД² в части актуализации УРЭН для МО. Фрагмент предлагаемых изменений представлен в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий с электрическими плитами мощностью до 8,5 кВт
Specific design electrical load of electrical receivers of apartments in residential buildings with electric stoves with a power of up to 8.5 kW

Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир, кВт/квартира					
200	400	600	1000	1500	2000 и более
0,91	0,79	0,67	0,63	0,61	0,59

*Источник: составлено автором.

Source compiled by the author

Эффект от применения предлагаемых изменений заключается в снижении мощности технологического присоединения, представлен на примере расчета электрической нагрузки 17 этажного 2 подъездного МКД, выполненного по типовым проектам, состоящего из 200 квартир (100 квартир на подъезд) средней общей площадью 70 м² (квартиры от 35 до 90 м²). Расчет электрической нагрузки проводится для двух вариантов: 1) по действующей НТД²; 2) по предложенным новым значениям УРЭН (табл. 3).

1. Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир определяется по формуле:

$$\text{Вариант 1: } P_{\text{кв}} = P_{\text{кв,уд}} \cdot n = 1,36 \cdot 200 = 272 \text{ кВт},$$

$$\text{Вариант 2: } P_{\text{кв}} = 0,91 \cdot 200 = 182 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{кв,уд}}$ - удельная нагрузка электроприемников квартир, кВт/квартира (для варианта 1 принимаемая по таблице 7.1², для варианта 2 – табл. 3); n - число квартир, присоединенных к ТП.

2. Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок определяется по формуле (в подъезде установлено 2 лифтовые установки⁵, пассажирский лифт с установленной мощностью электродвигателя – 6 кВт и грузовой – 9,5 кВт):

$$P_{\text{р.л}} = K_{\text{с.л}} \sum_{i=1}^{n_{\text{л}}} P_{\text{ни}} = 0,8 \cdot (2 \cdot 9,5 + 2 \cdot 6) = 24,8 \text{ кВт},$$

где $K_{\text{с.л}}$ - коэффициент спроса, определяемый в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий, табл. 7.4²; $n_{\text{л}}$ - число лифтовых установок, питаемых линиями; $P_{\text{ни}}$ - установленная мощность электродвигателя i -го лифта по паспорту, кВт.

3. Нагрузка насосов ($P_{\text{кнс}}$) принята равной 18 кВт и ($P_{\text{дн}}$) 1,92 кВт.

4. Расчетная нагрузка жилого дома $P_{\text{р.ж.д}}$, кВт, определяется по формуле:

$$\text{Вариант 1: } P_{\text{р.ж.д}} = k_{\text{п.к}} \cdot P_{\text{кв}} + 0,9 \cdot (P_{\text{кнс}} + P_{\text{дн}} + P_{\text{рл}}) = 0,81 \cdot 272 + 0,9 \cdot (24,8 + 18 + 1,92 + 24,8) = 260,6 \text{ кВт}.$$

$$\text{Вариант 2: } P_{\text{р.ж.д}} = P_{\text{кв}} + 0,9 \cdot (P_{\text{кнс}} + P_{\text{дн}} + P_{\text{рл}}) = 182 + 0,9 \cdot (24,8 + 18 + 1,92 + 24,8) = 222,3 \text{ кВт},$$

где $k_{\text{п.к}}$ - поправочный коэффициент для определения расчетной нагрузки жилого дома, принимается для МО по табл. 7.5а². Для значений $P_{\text{кв}}$, рассчитанных по значениям из табл. 3, поправочный коэффициент $k_{\text{п.к}}$ не применяется.

Расчеты демонстрируют, что актуализация нормативных значений УРЭН МКД МО (табл. 3) снижает заявленную мощность технологического присоединения на 14,7%.

На рисунке 10 представлен эффект от применения актуализированных УРЭН для МКД МО с количеством квартир от 200 – 1000 (при условии, что на один подъезд

⁵ СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные СНиП 31-01-2003»

приходится 100 квартир и 2 лифтовые установки: пассажирский и грузовой лифты, нагрузка насосов ($P_{\text{кнс}}$) и ($P_{\text{дл}}$) увеличивается в два раза при числе квартир в МКД 500 и выше).

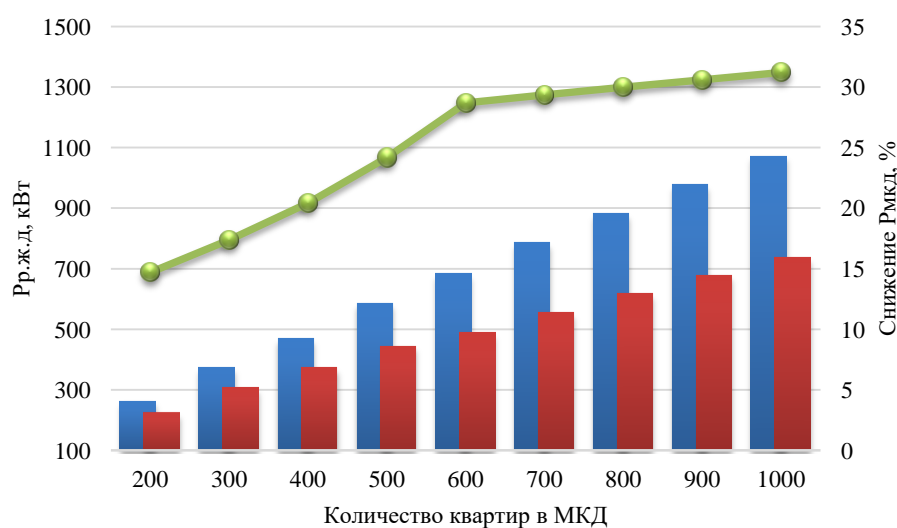


Рис. 10. Эффект от применения актуализированных УРЭН
*Источник: составлено автором.

Fig. 10. The effect of using updated specific design electrical loads
Source compiled by the author

Как видно из рис. 10, предлагаемые изменения (табл. 3) позволят сократить требуемую мощность для электроснабжения МКД. Мощности технологического присоединения снижаются в зависимости от числа квартир МКД, к примеру, для 300 квартирного МКД снижение составит 17,4 %, а для 900 квартирного – 30,6%.

Обсуждение (Discussions)

Внедрение полученных результатов при проектировании сетей электроснабжения жилых зданий позволит для строительных компаний снизить затраты на технологическое присоединение МКД. Что достигается снижением количества и оптимизации загрузки СТ, а также уменьшением сечения кабельно-проводниковой продукции.

Важно отметить, что средняя нагрузка мощностей по данным ПАО «Россети» составляет 35%⁶. В управлении ПАО «Россети» находятся ТП общей мощностью 835 тыс. МВА⁶, соответственно эффективно используется только 292,25 тыс. МВА. Низкая нагрузка СТ свидетельствует об увеличенных потерях электроэнергии в них [11, 12]. К примеру, фактические потери электрической энергии в 2022 году по данным ПАО «Россети» составили 24,7 млрд кВт·ч (компенсация затрат на потери электроэнергии – 47,4 млрд руб.)⁶, часть из которых возникла из-за недогруженных СТ, выбранных по устаревшим УРЭН.

По данным Системного оператора Единой энергосистемы установленная мощность электрических станций составляет 247,6 ГВт⁷, а максимальная нагрузка электростанций в течение 2022 г. не превышает 158,8 ГВт (13.01.2022 г.)⁷, т.е. 88,8 ГВт не используются, из них на жилые и общественные здания приходится в среднем 20%, т.е. 17,8 ГВт. В свою очередь строительство тепловой электростанции может обойтись от 40 до 70 млн. руб. за каждый МВт, соответственно, 17,8 ГВт – в среднем 1 трлн. руб., неиспользуемых инвестиций, вызванных в частности устаревшими НТД.

Выводы (Conclusions)

Максимальных значений удельная нагрузка квартир МКД МО достигает в декабре 2022 г., и численная разница, по сравнению с другими месяцами года, достаточно существенная. Поэтому формирование представления о максимальном электропотреблении МКД МО в течение года предпочтительно основывать на данных декабря.

Обобщая полученные результаты расчета удельной нагрузки, можно сделать вывод о том, что за период наблюдения с 1 апреля 2021 г. по 28 февраля 2023 г. максимальное значение удельной электрической нагрузки квартир не превышает значения 0,60 кВт/квартира и лежит ниже нормативных значений².

⁶ Годовой отчет ПАО «Россети» 2022 г.

⁷ Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году

Полученная зависимость УРЭН от количества квартир позволяет рассчитать электрические нагрузки МКД с числом квартир свыше 1000. Так как, начиная с 2000 квартир, УРЭН изменяются не значительно, предлагается ограничить таблицу 7.1² 2000 квартирами.

Применение на практике новых нормативных значений УРЭН МКД приведёт к тому, что застройщики снизят стоимость и сроки строительства электрических сетей для электроснабжения МКД, за счет оптимального выбора электрооборудования и кабельно-проводниковой продукции.

Литература

1. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. и др. Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан // Промышленная энергетика. 2021. № 2. С. 32-40. DOI 10.34831/EP.2021.15.61.005. EDN RKRWXX.
2. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. и др. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5(62). С. 68-73. EDN CRFVEN.
3. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. и др. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области // Промышленная энергетика. 2022. № 4. С. 20-28. DOI 10.34831/EP.2022.41.57.003. EDN HXYLKK.
4. 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.
5. Надтока И. И., Павлов А. В., Новиков С. И. Проблемы расчёта электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2013. № 1. С. 136-138. EDN PWPXNL.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Морсин И. А., Шведов Г. В. Математическая модель электрической нагрузки вводного распределительного устройства многоквартирного жилого дома // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. № 5(80). С. 20-25. EDN RWWHCO.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Albert A., Rajagopal R. Smart meter driven segmentation: what your consumption says about you // IEEE Trans. Power Syst. vol. 28. iss. 4. 2013. INSPEC Accession Number: 13849579. Pp. 4019-4030. DOI: 10.1109/TPWRS.2013.2266122.

15. Ledva G. S., Mathieu J. L. Separating Feeder Demand into Components Using Substation, Feeder, and Smart Meter Measurements // IEEE Transactions on Smart Grid. vol. 11. iss. 4. 2020. INSPEC Accession Number: 19710011. Pp.3280-3290. DOI: 10.1109/TSG.2020.2967220.
16. Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Vincent W. S. Wong, Juri Jatskevich, Robert Schober, Alberto Leon-Garcia, Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid // IEEE Transactions on Smart Grid. 2010. vol. 1. iss. 3. INSPEC Accession Number: 11655620. Pp. 320-331. DOI: 10.1109/TSG.2010.2089069.
17. Paula Carroll, Tadhg Murphy, Michale Hanley, Daniel Dempsey, John Dunne, Household Classification Using Smart Meter Data // Journal of official statistics. vol. 34. No 1. 2018. Pp. 1-25. DOI: 10.1515/jos-2018-0001.
18. Гореева Н. М., Демидова Л. Н. Статистика // Москва: Изд.: Прометей. 2019. 496 с.
19. James G, Witten D, Hatie T, Tibshirani R. An introduction to statistical learning with Applications in R 2nd ed. Cham: Springer. 2021. p. 612.

Авторы публикации

Солуянов Владимир Иванович – начальник КМУ-1 АО «Татэлектромонтаж», ведущий специалист Ассоциации «Росэлектромонтаж», секретарь комитета Российского Союза Строителей по энергоресурсосбережению, энергообеспечению предприятий и безопасности зданий и сооружений. Email: vs@tatem.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0004-7509>.

Солуянов Юрий Иванович – д-р техн. наук, профессор, почетный профессор Казанского государственного энергетического университета, президент Ассоциации «Росэлектромонтаж», председатель совета директоров АО «Татэлектромонтаж», председатель технического комитета по стандартизации ТК 337 «Электроустановки зданий», председатель комитета Российского Союза Строителей по энергоресурсосбережению, энергообеспечению предприятий и безопасности зданий и сооружений. Email: info@roselmon.su.

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Казанского государственного энергетического университета, главный специалист Ассоциации «Росэлектромонтаж», эксперт комитета Российского Союза Строителей по энергоресурсосбережению, энергообеспечению предприятий и безопасности зданий и сооружений. Email: fed.ai@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-8038>.

Ахметшин Азат Ринатович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета, ведущий специалист Ассоциации «Росэлектромонтаж», эксперт комитета Российского Союза Строителей по энергоресурсосбережению, энергообеспечению предприятий и безопасности зданий и сооружений. Email: ahmetshin.ar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>.

References

1. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Akhmetshin A. R. et al. Updating calculated electrical loads with subsequent practical application using the example of the Republic of Tatarstan. *Industrial Energy*. 2021; 2: 32-40.
2. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Akhmetshin A. R. et al. Energy-saving solutions in electrical distribution networks based on the analysis of their actual loads. *Electricity. Transmission and distribution*. 2020; 5(62): 68-73.
3. Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Akhmetshin A. R. et al. Analysis of actual electrical loads of apartment buildings in the Moscow region. *Industrial Energy*. 2022; 4: 20-28.
4. Nadtoke I. I., Pavlov A. V. Calculations of electrical loads of the residential part of apartment buildings with electric stoves, based on the average loads of apartments. *News of higher educational institutions. Electromechanics*. 2014; 3: 36-39.
5. Nadtoke I. I., Pavlov A. V., Novikov S. I. Problems of calculating electrical loads of municipal and household consumers in microdistricts of megacities. *News of higher educational institutions. Electromechanics*. 2013; 1: 136-138.
6. Nadtoke I. I., Zvoznikova I. A., Turutkin S. Yu. et al. The influence of the duration of the measurement interval of electricity consumption on the accuracy of determining the

maximum heating load. *Industrial Energy*. 2022; 12: 21-25.

7. Tavarov S. Sh., Sidorov A. I., Suvorov I. F. et al. Method for forecasting and calculating the electrical load of municipal consumers under conditions of uncertainty. *iPolytech Journal*. 2023; 3: 565-573.

8. Morsin I. A., Shvedov G. V. Formation of electrical loads on the buses of the input distribution device of modern apartment buildings. *Industrial Energy*. 2023; 7: 22-29.

9. Solovyova A. S., Shvedov G. V. Comparative analysis of winter and summer schedules of electrical load of working days and weekends of apartment buildings with electric stoves in power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy*. 2023; 1: 27-37.

10. Morsin I. A., Shvedov G. V. Mathematical model of the electrical load of the input distribution device of an apartment building. *Electricity. Transmission and distribution*. 2023; 5: 20-25.

11. Gracheva E. I., Naumov O. V., Fedotov E. A. Influence of the load capacity of power transformers on their operational characteristics. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2017; 7-8: 71-77.

12. Gracheva E. I., Naumov O. V., Sadykov R. R. Accounting for no-load waste of transformers during operation when calculating electricity losses in distribution networks. *News of higher educational institutions. Energy problems*. 2016; 1-2: 53-63.

13. Yundin M., Ponomarenko T., Yundin K. Analysis of excess power losses in 10/0.4 kV power transformers having a load with a predominance of nonlinear consumers. *Electricity. Transmission and distribution*. 2021; S1: 6-12.

14. Albert A., Rajagopal R. Smart meter driven segmentation: what your consumption says about you. *IEEE Trans. Power Syst.* 2013; 28: 4019-4030.

15. Ledva G. S., Mathieu J. L. Separating Feeder Demand into Components Using Substation, Feeder, and Smart Meter Measurements. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2020; 11: 3280-3290.

16. Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Vincent W. S. Wong, Juri Jatskevich, Robert Schober, Alberto Leon-Garcia, Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2010; 1: 320-331.

17. Paula Carroll, Tadhg Murphy, Michale Hanley, Daniel Dempsey, John Dunne, Household Classification Using Smart Meter Data. *Journal of official statistics*. 2018; 34: 1-25.

18. Goreeva N. M., Demidova L. N. Statistics // Moscow: Publishing House: Prometheus. 2019; 496.

19. James G, Witten D, Hatie T, Tibshirani R. An introduction to statistical learning with Applications in R 2nd ed. Cham: Springer. 2021; 612.

Authors of the publication

Vladimir I. Soluyanov - "Tatelektromontazh" JSC, Kazan, Russia.

Yuri I. Soluyanov – "Roselectromontazh" Association, Moscow, Russia

Alexander I. Fedotov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Azat R. Akhmetshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Шифр научной специальности: 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Получено 10.12.2023 г.

Отредактировано 15.12.2023 г.

Принято 22.12.2023 г.