

**РАСЧЕТ ПОПРАВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА К НОРМАТИВНЫМ
ЗНАЧЕНИЯМ УДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК
МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ
Г. МОСКВЫ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

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

¹Ассоциация «Росэлектромонтаж», г. Москва, Россия

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

³ОАО «Татэлектромонтаж», Казань, Россия

ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>, dr.akhmetshin@ieee.org

Резюме. ЦЕЛЬ. Снижение стоимости внешних электрических сетей в жилищном строительстве многоквартирных жилых домов (МКД) г. Москвы и Московской области посредством обоснования величины поправочного коэффициента к нормативным значениям удельных электрических нагрузок и разработать соответствующие изменения к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». МЕТОДЫ. Использованы экспериментально полученные от интеллектуальных приборов учета электроэнергии получасовые графики электрических нагрузок, установленных непосредственно у исследуемых объектов. Для обработки результатов измерений применены статистические методы обработки большого массива данных. РЕЗУЛЬТАТЫ. В статье обоснована актуальность темы, проведен анализ электрических нагрузок жилых домов г. Москвы и Московской области, подтвердивший необходимость разработки поправочного коэффициента, величина которого характеризует разность реальных и расчетных значений. Приняты к статистической обработке результаты измерений расхода электроэнергии в квартирах за сутки с максимальным суммарным электропотреблением МКД. На основании выполненных расчетов подготовлены изменения в раздел 7 СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», в том числе пункт 7.1.10. изложен в новой редакции, и сформирована таблица 7.5а. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. На основании анализа рассчитанных удельных электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы и Московской области обосновано с учетом запаса значение поправочного коэффициента для г. Москвы и Московской области применительно к МКД типовых проектов, которое составило 0,81. Применение поправочного коэффициента для определения расчетной нагрузки жилого дома позволит уменьшить затраты при строительстве внешних электрических сетей жилых домов с одновременным повышением КПД силовых трансформаторов в г. Москве и Московской области.

Ключевые слова: графики электрических нагрузок; удельные расчетные электрические нагрузки; запертая электрическая мощность; поправочный коэффициент, проектирование жилых комплексов.

Для цитирования: Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Расчет поправочного коэффициента к нормативным значениям удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов г. Москвы и Московской области // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24. № 4. С. 142-153. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-4-142-153.

**CALCULATION OF THE CORRECTION FACTOR TO THE NORMATIVE
VALUES OF SPECIFIC ELECTRIC LOADS OF MULTIPLE RESIDENTIAL
BUILDINGS MOSCOW AND MOSCOW REGION**

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

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia

³JSC «Tatelektromontazh», Kazan, Russia

Abstract: *THE PURPOSE.* Reducing the cost of external electrical networks in the housing construction of multi-apartment residential buildings (MKD) in Moscow and the Moscow Region by substantiating the value of the correction factor to the standard values of specific electrical loads and developing appropriate amendments to SP 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Rules for design and installation. METHODS. The half-hour graphs of electrical loads installed directly at the objects under study were experimentally obtained from intelligent electricity metering devices. To process the measurement results, statistical methods for processing a large amount of data were applied. RESULTS. The article substantiates the relevance of the topic, analyzes the electrical loads of residential buildings in Moscow and the Moscow region, which confirmed the need to develop a correction factor, the value of which characterizes the difference between real and calculated values. Accepted for statistical processing are the results of measurements of electricity consumption in apartments per day with the maximum total electricity consumption of MKD. Based on the calculations performed, amendments were prepared to section 7 of SP 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules", including clause 7.1.10. is set out in a new edition, and table 7.5a is formed. CONCLUSION. Based on the analysis of the calculated specific electrical loads of apartment buildings in Moscow and the Moscow region, the value of the correction factor for the city of Moscow and the Moscow region in relation to the MKD of standard projects, which amounted to 0.81, was justified, taking into account the margin. The use of a correction factor to determine the design load of a residential building will reduce costs in the construction of external electrical networks of residential buildings with a simultaneous increase in the efficiency of power transformers in Moscow and the Moscow Region.

Keywords: *diagrams of electrical loads; specific design electrical loads; locked electrical power; correction factor, design of residential complexes.*

For citation: Soluyanov YuI, Fedotov AI, Akhmetshin AR Calculation of the correction factor to the normative values of specific electric loads of multiple residential buildings Moscow and Moscow region. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022; 24(4):142-153. doi: 10.30724/1998-9903-2022-24-4-142-153.

Введение

Для расчета электрических нагрузок жилых и общественных зданий используют свод правил (СП)¹ [1], включенный в обязательный перечень² национальных стандартов обязательных к применению, утверждённый Правительством Российской Федерации (РФ).

Важным направлением деятельности в области энерго- и ресурсосбережения является работа по совершенствованию нормативной базы, что также соответствует поручению Президента РФ³.

Совершенствование нормативов удельных электрических нагрузок жилых и общественных зданий способствует:

- Снижению стоимости квадратного метра жилья, высвобождению придомовой территории для социальных и бытовых нужд⁴.
- Обеспечению потребности внутреннего рынка в надежном, качественном и экономически обоснованном снабжении энергией⁵.
- Совершенствованию нормативно-правовой базы, совершенствованию системы планирования в электроэнергетике, снижению потерь электрической энергии до 2050 г. до уровня 7-7,5%⁶.

¹ СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

² Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2021 № 815 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона».

³ Поручение Президента РФ от 25 мая 2020 г. № Пр-843 «О предложениях по оптимизации нормативных требований».

⁴ Постановление Правительства РФ от 30.12.2017 N 1710 (ред. от 20.06.2022) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации».

⁵ Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 N 321 (ред. от 21.03.2022) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие энергетики».

- Повышению качества предоставления государственных услуг для бизнеса, в том числе подключение к электросетям⁷.

- Снижению избытка установленной мощности электростанций ЕЭС РФ⁸.

Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных домов (МКД) г. Москвы и Московской области (МО), показал необходимость в снижении нормативных значений [2, 3] путем введения обоснованной величины поправочного коэффициента (ПК). Для чего необходимо разработать изменения в раздел 7 (СП)⁹, в том числе пункт 7.1.10. изложить в новой редакции и сформировать таблицу 7.5а.

Расчет ПК выполнен статистическими методами [4] с использованием данных, полученных в процессе мониторинга электропотребления и электрической нагрузки жилых домов в течение трех лет. Мониторинг осуществлялся с помощью интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ИПУЭЭ), обладающих на сегодняшний день широкими возможностями [5], решающими задачи: обеспечение качества электроэнергии [6], прогнозирование электрической нагрузки [7], снижение коммерческих и технических потерь электроэнергии [8-10].

Применение ПК для определения расчетной нагрузки жилых домов г. Москвы и МО позволит уменьшить затраты при строительстве внешних электрических сетей и одновременно повысить КПД силовых трансформаторов (СТ) [11, 12].

Прогноз основных направлений развития электроэнергетики^{10,11} предполагает, что в г. Москве будет введено 58,2 млн. м² жилья из них 15,8 млн. м² на территории Троицкого и Новомосковского административных округов, в свою очередь в МО - 18,4 млн. м², для чего ориентировочно понадобятся 1382 МВт и 437 МВт электрической мощности соответственно.

При проектировании внешних электрических сетей используют нормативные удельные значения нагрузок МКД, тем не менее практика эксплуатации городских систем электроснабжения показала, фактические нагрузки значительно ниже расчетных¹ [13]. В результате построенные кабельные сети и трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ фактически оказываются недогруженными. Так в часы максимума нагрузок порядка 40 % ТП в г. Москве и МО загружены менее 30 %. В большинстве случаев догрузить подстанции не представляется возможным: для ТП 10/0,4 кВ в застроенном микрорайоне отсутствуют какие-либо значимые новые потребители электроэнергии, а для подстанций 110/10 кВ по документам мощность используется полностью, образуя «запертую электрическую мощность» [14].

Для решения проблемы «запертой электрической мощности» и снижения стоимости строительства одновременно с уменьшением потерь в электрических сетях, вызванных недогрузкой силовых трансформаторов, требуется актуализация удельных расчетных электрических нагрузок, основанных на фактических замерах [15]. Проблема, связанная с разницей между реальными и расчетными значениями электрической нагрузки, освещалась неоднократно в зарубежной и отечественной литературе [16-19].

Решению задачи разработки ПК благоприятствует цифровая трансформация в энергетике [20], а именно массовое внедрение ИПУЭЭ в соответствии с Федеральным законом (ФЗ)¹¹. В рамках ФЗ¹² введено понятие «интеллектуальной системы учета электрической энергии (мощности)», и регламентируются правила организации учета электроэнергии на розничных рынках в целях оказания коммунальных услуг по электроснабжению. Для унифицирования разработан минимальный набор функций ИПУЭЭ, утвержденный Постановлением Правительства РФ¹³.

В данном исследовании все данные от ИПУЭЭ были обработаны с помощью среды вычислений R в программе RStudio¹⁴, которое широко используется как

⁶ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года.

⁷ Национальный рейтинг состояния инвестиционного климата в субъектах Российской Федерации.

⁸ Распоряжение Правительства РФ от 30.09.2018 N 2101-р (ред. от 13.04.2022) «Об утверждении комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года».

⁹ СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

¹⁰ Распоряжение Мэра Москвы от 25 мая 2020 года № 292-РМ «Об утверждении Схемы и программы перспективного развития электроэнергетики города Москвы на 2020–2025 годы».

¹¹ Постановление Губернатора Московской области от 30 апреля 2021 года № 115-ПГ «Об утверждении схемы и программы перспективного развития электроэнергетики Московской области на период 2022-2026 годов».

¹² Федеральный закон от 27.12.2018 N 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации».

¹³ Постановление Правительства РФ от 19 июня 2020 г. N 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)».

¹⁴ <https://www.rstudio.com/> - сайт компании разработчика.

статистическое программное обеспечение для анализа данных и фактически является стандартом для статистических программ. В R используется интерфейс командной строки с доступом к графическим интерфейсам пользователя, таких как пакет *RCommander*, *RKward*, *RStudio*, *Weka*, *Rapid Miner*, *KNIME*, а также средства интеграции в офисные пакеты.

В основу расчета минимального объема репрезентативной выборки положено утверждение Центральных предельных теорем в теории вероятностей, утверждающих, что сумма достаточно большого количества слабо зависимых случайных величин, имеющих примерно одинаковые масштабы (ни одно из слагаемых не доминирует, не вносит в сумму определяющего вклада), имеет распределение, близкое к нормальному [21].

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые для вычисления удельных расчетных электрических нагрузок (УРЭН) жилых зданий были использованы ИПУЭЭ с последующей статистической обработкой большого массива данных. Для повышения точности вычисления УРЭН из расчетов были исключены неиспользуемые квартиры.

Практическая новизна исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для проектирования жилых зданий г. Москвы и МО, способствуя снижению стоимости электрических сетей микрорайонов и уменьшению потерь электроэнергии за счет эффективной загрузки СТ.

Экспериментальные исследования электрических нагрузок

Для определения значений УРЭН МКД для г. Москвы и МО проанализирована выборочная совокупность из 106 домов. Выборочная совокупность сформирована произвольным образом. Фактические данные электрических нагрузок МКД, предоставленные ПАО «ГК «Самолет» и *Capital Group*, имеют этажность большинства объектов от 15 до 17 этажей, (рис. 1).

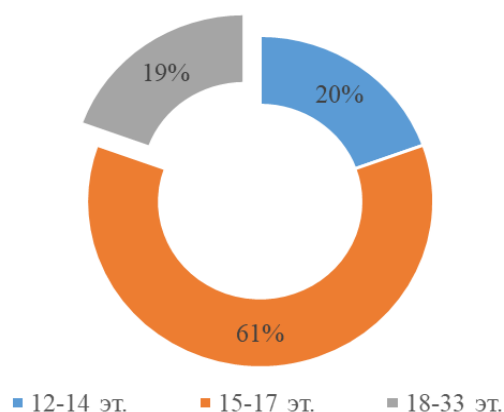


Рис. 1. Этажность МКД.

Fig. 1. Floors of residential buildings.

Исследование выборок проводилось по параметру месячного электропотребления квартир МКД в течение периода наблюдения. Период наблюдения у МКД не одинаков и охватил в общей сложности почти 3 года. Для каждого МКД выборочной совокупности в течение всего времени наблюдения был определен месяц с наибольшим потреблением. Поквартирные данные за этот месяц использовались в дальнейшей статистической обработке выборки МКД для выявления неэксплуатируемых квартир.

Статистическая обработка данных по значениям электропотребления МКД

Конечной целью исследования является разработка и обоснование ПК, с этой целью проведена статистическая оценка полученной выборки МКД. Основой для этого служит величина электропотребления квартир МКД за периоды наибольших нагрузок.

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения месячного электропотребления квартир. Из чего можно сделать вывод, что электропотребление большей частью квартир варьируется от 100-200 кВт·ч в месяц.

Для определения структуры электропотребления выборка значений месячного электропотребления квартир МКД г. Москвы и МО была отсортирована в порядке его уменьшения. В качестве примера для одного из 106 МКД на рисунке 3 приведена диаграмма распределения электропотребления в порядке его уменьшения.

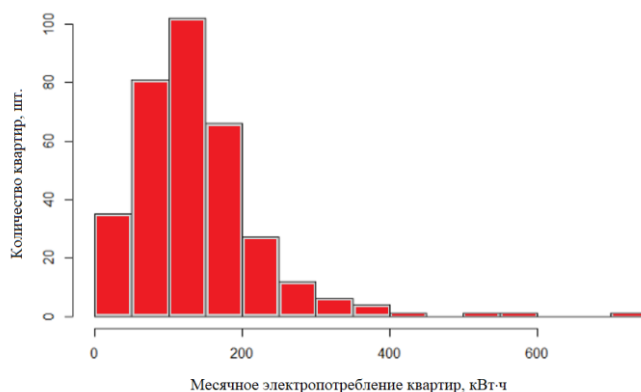


Рис. 2. Гистограмма распределения месячного электропотребления квартир.

Fig. 2. Histogram of distribution of monthly electricity consumption of apartments.

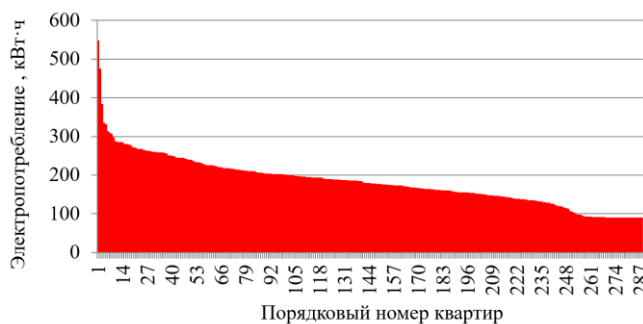


Рис. 3. Диаграмма распределения месячного электропотребления квартир.

Fig. 2. Distribution diagram of monthly electricity consumption of apartments.

Для одного из 106 МКД на рисунке 4 приведена диаграмма, отражающая суммарное электропотребление квартир нарастающим итогом в процентах от электропотребления дома.



Рис. 4. Диаграмма суммарного электропотребления квартир нарастающим итогом в процентах от электропотребления дома.

Fig. 4. Diagram of the total electricity consumption of apartments on a cumulative basis as a percentage of the electricity consumption of the house.

На рисунке 5 показано суммарное электропотребление квартир этого же дома в зависимости от процента от общего числа квартир в нем.

Рисунки 4 и 5 демонстрируют, что 90 % электроэнергии приходится на 82 % квартир дома. Таким образом, 18 % квартир с наименьшим потреблением можно не учитывать при определении удельной мощности квартир этого дома.

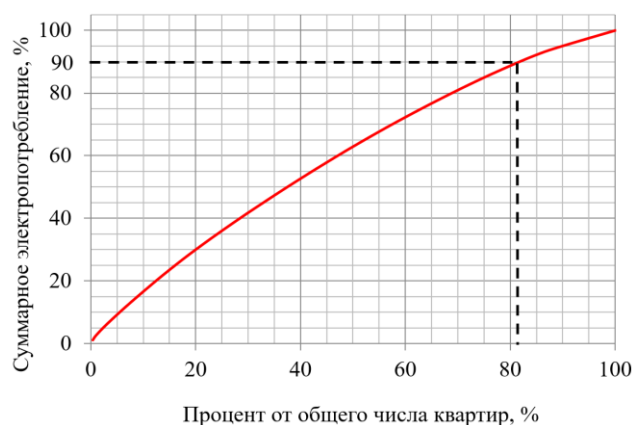


Рис. 5. Суммарное электропотребление квартир дома в зависимости от доли квартир. Fig. 5. Total electricity consumption of apartments in the house depending on the share of apartments.

На рисунок 6 продемонстрировано количество квартир по каждому МКД, обеспечивающих суммарное электропотребление на уровне 90 % для всех МКД исследуемой выборки. Эти значения были использованы в дальнейшем для расчета удельных электрических нагрузок МКД г. Москвы и МО.

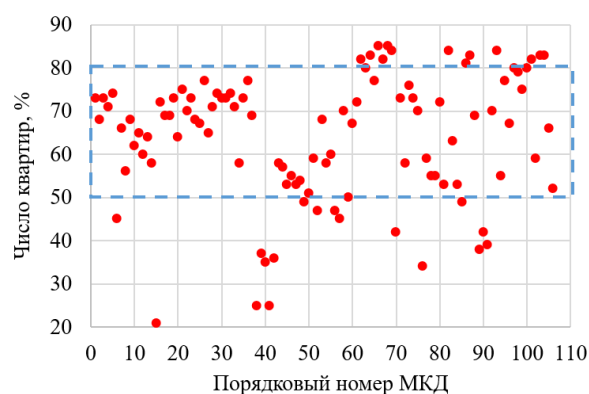


Рис. 6. Процент от общего числа квартир, обеспечивающих суммарное электропотребление на уровне 90 % для всех МКД исследуемой выборки. Fig. 6. The percentage of the total number of apartments that provide a total electricity consumption of 90% for all residential buildings in the study sample.

По рисунку 6 можно определить процент квартир, обеспечивающих 90 % уровень электропотребления МКД. Например, видно, что в большинстве случаев 90 % электропотребления обеспечивают 50-80 % квартир дома.

Формирование выборок квартир для МКД проводилось с целью определения процента квартир с наименьшим потреблением для последующего исключения его из совокупности квартир дома при расчете ПК для определения УРЭН МКД г. Москвы и МО.

Базовые статистические показатели выборочной совокупности максимальной удельной получасовой нагрузки МКД г. Москвы и МО, в отношении которых производилась статистическая обработка, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Базовые статистические показатели выборки							
Нв, шт	Эср, кВт/кв	S, кВт/кв	Ме, кВт/кв	Эмин, кВт/кв	Эмакс, кВт/кв	Q25%, кВт/кв	Q75%, кВт/кв
106	0,48	0,27	0,37	0,09	1,10	0,29	0,70

где

Нв – размер выборки (число домов), шт;

Эср – среднее значение удельной получасовой мощности выборки, кВт/кв;

S – среднеквадратичное отклонение, кВт/кв;

Ме – медиана выборки, кВт/кв;

Эмин – минимальное значение удельной получасовой мощности выборки, кВт/кв;

Эмакс – максимальное значение удельной получасовой мощности выборки, кВт/кв;
Q25%, кВт/кв – первый квартиль выборки;
Q75%, кВт/кв – третий квартиль выборки.

Определение минимального объема репрезентативной выборки проводилось при максимальной ошибке репрезентативности ± 5 и ± 10 % от среднего и доверительной вероятности 90 %. Результаты расчета минимального объема репрезентативной выборки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Минимальный объем репрезентативной выборки для МКД г. Москвы и Московской области

Максимальная ошибка репрезентативности	Объем генеральной совокупности, шт.	Объем выборки, шт.	Минимальный объем репрезентативной выборки, шт
± 5 %	88109	106	343
± 10 %	88109	106	87

Данные таблицы 2 характеризуют зависимость минимального объема репрезентативной выборки МКД, который необходимо взять для характеристики генеральной совокупности МКД г. Москвы и Московской области при максимальной ошибке репрезентативности ± 5 и ± 10 % от среднего и величине доверительной вероятности 90 %.

Из расчетов видно, что чем меньше допускаемая ошибка репрезентативности, тем больше данных нужно взять для анализа.

Результаты расчета ПК для определения расчетной электрической нагрузки МКД г. Москвы и МО.

Для расчета ПК ($k_{п.к.}$), предназначенного для определения расчетной нагрузки жилых домов, были определены удельные электрические нагрузки МКД г. Москвы и МО за сутки с наибольшим потреблением. Расчет удельных электрических нагрузок электроприемников квартир производился на основании данных по фактическим нагрузкам МКД г. Москвы и МО.

В качестве исходной информации были получены значения максимальной получасовой нагрузки МКД за зимние месяцы 2019-2020 гг. Эти данные были использованы при расчете ПК ($k_{п.к.}$) г. Москвы и МО.

На рисунке 7 приведено значение ПК ($k_{п.к.}$) для г. Москвы и МО, найденного как отношение максимальной удельной получасовой нагрузки электроприемников квартир выборки МКД к удельной расчетной электрической нагрузке электроприемников квартир жилых зданий, определенной путем интерполяции по таблице 7.1 (СП)¹⁵.

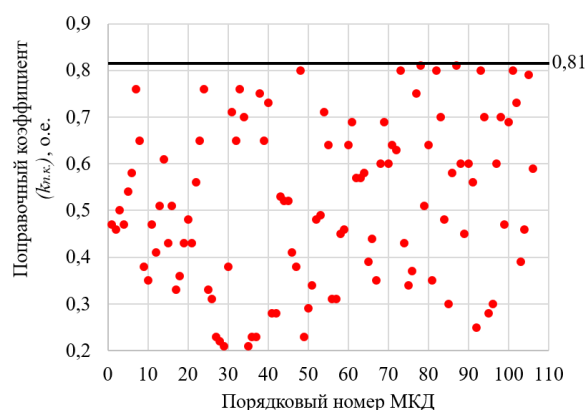


Рис. 7. Диаграмма распределения поправочного коэффициента $k_{п.к.}$ для г. Москвы и Московской области

Fig. 7. Distribution diagram of the correction factor $k_{p.k}$ for Moscow and the Moscow region

По диаграмме на рисунке 7 видно, что ПК ($k_{п.к.}$) для г. Москвы и МО лежит в диапазоне от 0,2 до 0,80, а максимальное его значение равно 0,81. Низкие значения ПК можно объяснить неполной заселенностью домов. Приведенные выше оценки электропотребления основаны на использовании относительных значений. При этом если в целом дом имеет незначительное количество постоянно эксплуатируемых квартир, то

¹⁵ СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

90% общего электропотребления будет обеспечиваться значительным количеством квартир. В то же время их абсолютная суммарная нагрузка будет невысокой, с чем и связаны низкие значения ПК.

В соответствии с выполненными расчетами подготовлены изменения № 4 к (СП)¹⁶, которые утверждены приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 919/пр от 30.12.20 г. и включали в себя следующие:

Пункт 7.1.10. Изложить в новой редакции:

«7.1.10 Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников), $P_{р.ж.д.}$ кВт, определяется по формуле:

$$P_{р.ж.д.} = k_{п.к.} \cdot P_{кв} + 0,9P_c, \quad (6)$$

где $P_{кв}$ - расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;

P_c - расчетная нагрузка силовых электроприемников, кВт;

$k_{п.к.}$ - поправочный коэффициент для определения расчетной нагрузки жилого дома, принимается по таблице 7.5а».

Таблица 7.5а

Поправочный коэффициент для определения расчетной нагрузки жилого дома для различных регионов Российской Федерации

№	Регион Российской Федерации	Значение $k_{п.к.}$
1.	Московская область, г. Москва.	0,81
Примечание: 1. При наличии данных о фактических нагрузках, документированных и утвержденных в установленном порядке, поправочный коэффициент для вычисления расчетной нагрузки жилого дома $k_{п.к.}$ может корректироваться для конкретного применения с учетом региональных условий.		

Обсуждение

Проанализирована выборочная совокупность из 106 домов по параметру электропотребления квартир МКД за месяц с наибольшей нагрузкой.

Для характеристики структуры электропотребления выборки МКД была определена зависимость суммарного электропотребления дома от доли квартир в нем. В соответствии с этой зависимостью для каждого дома был определен процент квартир с наименьшим потреблением и исключен из совокупности квартир дома при расчете ПК для определения расчетной нагрузки жилых домов г. Москвы и МО.

Электропотребление квартир жилых домов служит весомым индикатором их заселенности, что следует использовать при оценке величины их максимальной удельной мощности. Поскольку исходная информация по потребляемой мощности предоставляется целиком на дом, её деление на общее число квартир в доме дает заниженный результат величины удельной нагрузки квартиры вследствие не учета в этом случае тех квартир, которые либо не заселены, либо используются кратковременно. Такой прием ужесточает оценку удельной мощности квартир при сравнении с нормативными значениями, т.е. дает запас по мощности при проектировании систем электроснабжения на основе использования КП нагрузки, понижающего расчетную суммарную мощность жилого дома.

Использование элементов гексагональной структуры сети [22, 23] для электроснабжения жилых комплексов позволит дополнительно снизить КП.

Выводы

Статистическая обработка удельной получасовой нагрузки МКД г. Москвы и МО показала, что при максимальной ошибке репрезентативности $\pm 10\%$ от среднего и величине доверительной вероятности 90 % исследуемая выборка является репрезентативной для оценки параметров генеральной совокупности МКД г. Москвы и МО. Анализ результатов обработки выборки домов г. Москвы и МО показал, что диапазон квартир, на которые приходится 90 % потребления электроэнергии МКД, в зависимости от его заселенности, составляет от 21 до 85 % от общего числа квартир дома. В большинстве случаев 90 % электропотребления обеспечивают 50-80 % квартир дома.

¹⁶ СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».

Для расчета ПК были определены МКД г. Москвы и МО за сутки с наибольшим потреблением. Рассчитано максимальное значение ПК для г. Москвы и МО равное 0,81.

Значение ПК для определения расчетной нагрузки жилых домов г. Москвы и МО внесено в разделе 7 СП 256-1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» и утверждено приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ с целью уменьшения разницы между фактической и расчетной нагрузками МКД, образовавшейся в результате широкого применения в них различных видов энергоэффективных электроприемников.

Применение ПК для определения расчетной нагрузки жилого дома позволит уменьшить затраты при строительстве внешних электрических сетей жилых домов с одновременным повышением КПД силовых трансформаторов в г. Москве и МО. Дальнейшие более детальные исследования фактической нагрузки МКД различной этажности позволят подойти более избирательно к заданию ПК, возможно, разных его значений как МКД, отличающихся по высотности, так и для групп квартир.

Литература

1. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Москва: ИД «ФОРУМ» ИНФРА-М, 2017. 416 с.
2. 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.
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.
4. James G., Witten D., Hastie T., et al. An introduction to statistical learning with Applications in R. 2nd ed. Cham. Springer. 2021. p. 612.
5. Жилкина Ю. В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32.
6. Федотов А.И., Абдрахманов Р.С., Ахметшин А.Р. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 09-10. С. 40-45.
7. Гофман А.В., Ведерников А.С., Ведерникова Е.С. Повышение точности краткосрочного и оперативного прогнозирования электропотребления энергосистемы с применением искусственной нейронной сети // Электрические станции. 2012. № 7 (972). С. 36-41.
8. Илюшин П.В. Особенности учета параметров нагрузки при анализе переходных процессов в сетях с объектами распределенной генерации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. №6 (51). С. 54-61.
9. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энерго-ресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. №1 (23). С. 156-166.
10. Latifi M, Sabzehgar R, Rasouli M. Reactive power compensation using plugged-in electric vehicles for an AC power grid. IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. 2018. pp. 4986-4991.
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.
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.
13. 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.

14. Надтока И.И., Павлов А.В. Повышение точности расчета электрических нагрузок многоквартирных домов с электроплитами // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2015. №2. С. 45-48.

15. 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.

16. Carroll P., Murphy T., Hanley M., et al. Household classification using smart meter data // Journal of official statistics. 2018. V. 34. № 1. pp. 1-25.

17. Proedrou A. Comprehensive review of residential electricity load profile models // IEEE Access. 2021. Vol. 9. pp. 12114-12133.

18. Cembranel S.S., Lezama F., Soares J., et al. A short review on data mining techniques for electricity customers characterization // 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia. 2019. pp. 194-199.

19. Chung H.-M., Maharjan S., Zhang Y., Eliassen F. Distributed Deep Reinforcement Learning for Intelligent Load Scheduling in Residential Smart Grids // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021 V. 17 (4), art. no. 9133518, pp. 2752-2763.

20. Майоров А.В. Развитие системы оперативно-технологического управления электросетевым комплексом в рамках концепции цифровой трансформации 2030 // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 2 (13). С. 2-7.

21. Гореева Н.М., Демидова Л.Н. Статистика. Москва: Изд.: Прометей. 2019. 496 с.

22. Лоскутов А.Б., Соснина Е.Н., Лоскутов А.А., Зырин Д.В. Интеллектуальные распределительные сети 10 –20 кВ с гексагональной конфигурацией // Промышленная энергетика. 2013. № 12. С. 3–7.

23. 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. Р.Е. Алексеева. 2016. №3 (114). С. 85–94.

Авторы публикации

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 научно-экспертного совета в Приволжском федеральном округе по мониторингу реализации законодательства в области энергетики, энергосбережения и повышения энергетической эффективности при Комитете Совета Федерации ФС РФ по экономической политике.

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова Казанского государственного энергетического университета, главный специалист Ассоциации «Росэлектромонтаж», член технического комитета по стандартизации ТК 337 «Электроустановки зданий», член научно-экспертного совета в Приволжском федеральном округе по мониторингу реализации законодательства в области энергетики, энергосбережения и повышения энергетической эффективности при Комитете Совета Федерации ФС РФ по экономической политике.

Ахметшин Азат Ринатович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета, ведущий специалист Ассоциации «Росэлектромонтаж», член технического комитета по стандартизации ТК 337 «Электроустановки зданий», член научно-экспертного совета в Приволжском федеральном округе по мониторингу реализации законодательства в области энергетики, энергосбережения и повышения энергетической эффективности при Комитете Совета Федерации ФС РФ по экономической политике, член *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

References

1. Opoleva GN. *Ehlektrsnabzhenie promyshlennykh predpriyatii i gorodov*. Moscow: Publishing House FORUM INFRA-M; 2017;416.
2. Soluyanov YI, Fedotov AI, Galitskiy YY, et al. Updating the normative values of the specific electrical load of apartment buildings in the Republic of Tatarstan. *Electricity*. 2021; 6:62-71.
3. Soluyanov YI, Fedotov AI, Akhmetshin AR et al. Analysis of the actual values of the assessment of apartment buildings in the Moscow region. *Industrial Energy*. 2022; 4:20-28.
4. James G, Witten D, Hastie T, et al. An introduction to statistical learning with Applications in R. 2nd ed. Cham. Springer. 2021;612.
5. Zhilkina YV. Processes of reforming the electric power industry in Russia. *Energetik*. 2020; 1:29-32.
6. Fedotov AI, Abdrakhmanov RS, Akhmetshin AR. Ensuring the standard voltage level in distribution networks of 0.4-10 kV using booster transformers. *Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems*. 2011; 09-10:40-45.
7. Gofman AV, Vedernikov AS, Vedernikova ES. Improving the accuracy of short-term and operational forecasting of the power consumption of the energy system using an artificial neural network. *Electric Stations*. 2012; 7:36-41.
8. Ilyushin PV. Features of the account of load parameters in the analysis of transient processes in networks with distributed generation facilities. *Elektroenergiya. Transmission and distribution*. 2018; 51(6):54-61.
9. Soluyanov YI, Akhmetshin AR, Soluyanov VI. Energy-resource-saving effect in the power supply systems of residential complexes from the actualization of standards for electrical loads. *Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems*. 2021; 23(1):156-166.
10. Latifi M, Sabzehgar R, Rasouli M. Reactive power compensation using plugged-in electric vehicles for an AC power grid. *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. 2018;4986-4991.
11. 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; 7-8:71-77.
12. 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.
13. Soluyanov YI, Akhmetshin AR, Soluyanov VI. Actualization of specific electrical loads of public premises built into residential buildings. *Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems*. 2021; 3:47-57.
14. Nadtoke II, Pavlov AV. Increasing the accuracy of calculating the electrical loads of apartment buildings with electric stoves. *Izvestiya vuzov. North Caucasian region. Technical science*. 2015; 2:45-48.
15. Nadtoke II, Pavlov AV. Calculations of electrical loads in the residential part of apartment buildings with electric stoves based on the average loads of apartments. *Izvestiya vuzov. Electromechanics*. 2014; 3:36-39.
16. Carroll P, Murphy T, Hanley M, et al. Household classification using smart meter data. *Journal of official statistics*. 2018; 34(1):1-25.
17. Proedrou A. Comprehensive review of residential electricity load profile models. *IEEE Access*. 2021; 9:12114-12133.
18. Cembranel SS, Lezama F, Soares J, et al. A short review on data mining techniques for electricity customers characterization. *2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia*. 2019;194-199.
19. Chung H-M, Maharjan S, Zhang Y, Eliassen F. Distributed deep reinforcement learning for intelligent load scheduling in residential smart grids. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021; 17(4):2752-2763.
20. Mayorov AV. Development of the system of operational and technological management of the power grid complex within the framework of the concept of digital transformation 2030. *Electricity. Transmission and distribution*. 2019; 13(2):2-7.
21. Goreeva NM, Demidova LN. *Statistics*. Moscow: Publ.: Prometheus. 2019;496.
22. Loskutov AB, Sosnina EN, Loskutov AA, Zyrin DV. Intelligent distribution networks 10–20 kV with a hexagonal configuration. *Industrial Energy*. 2013; 12:3–7.
23. Loskutov AB, Loskutov AA, Zyrin DV. Development and research of a flexible intelligent medium voltage electrical network based on a hexagonal structure. *Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva*. 2016; 114(3):85–94.

Authors of the publication

Yuri I. Soluyanov – Kazan State Power Engineering University, JSC «Tatelektromontazh», Kazan, Russia, Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia.

Alexander I. Fedotov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia.

Azat R. Akhmetshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia.

Получено

05.06.2022 г.

Отредактировано

06.07.2022 г.

Принято

08.07.2022 г.