

## КОРРЕКТИРОВКА УДЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ КВАРТИР В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА ДАННЫХ

**Р.Г. Валеев**<sup>1</sup>, [valeevrg@susu.ru](mailto:valeevrg@susu.ru), <https://orcid.org/0009-0009-7157-2835>  
**М.А. Дзюба**<sup>1</sup>, [dziubama@susu.ru](mailto:dziubama@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3270-6190>  
**В.И. Сафонов**<sup>1</sup>, [safonovvi@susu.ru](mailto:safonovvi@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6452-9286>  
**М.В. Валеева**<sup>1</sup>, [valeevamv@susu.ru](mailto:valeevamv@susu.ru)  
**А.Г. Мурдид**<sup>2</sup>, [chmss74@mail.ru](mailto:chmss74@mail.ru)  
**Е.А. Кочетов**<sup>3</sup>, [e.kochetov@golos.click](mailto:e.kochetov@golos.click)

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Челябинский межрегиональный союз строителей, Челябинск, Россия

<sup>3</sup> ООО «Группа Голос», Челябинск, Россия

**Аннотация.** Проведено исследование графиков нагрузки с 30-минутным усреднением в 30 квартирах и 132 многоквартирных жилых домах в Челябинской области в течение одного года. На основе имеющихся данных путем сложения графиков нагрузки были созданы также имитационные объекты мониторинга в диапазоне от 6 до 1000 квартир на объекте. Активность потребителей электроэнергии на объекте мониторинга оценивалась по отношению среднемесячного потребления квартир на объекте к среднестатистическому месячному потреблению электроэнергии. На основании этого показателя потребители были классифицированы на три категории активности. Это позволило осуществлять контролируемое моделирование объектов мониторинга. По результатам расчетов установлено, что удельная мощность электрических нагрузок электроприемников жилых зданий может быть уменьшена по сравнению со значениями, приводимыми в СП 256.1325800.2016, и практически совпадает с нормами, действующими в Московской агломерации.

**Ключевые слова:** электрические нагрузки, жилые многоквартирные дома, статистическая обработка данных, нормы электропотребления

**Благодарности.** Исследования проведены в рамках выполнения работ по договору с «Союзом строительных компаний Урала и Сибири» по теме «Исследование электропотребления многоквартирных жилых домов с целью обоснования удельных показателей и поправочного коэффициента для расчета электрических нагрузок жилых зданий с электрическими плитами в Челябинской области».

**Для цитирования:** Корректировка удельных мощностей электрических нагрузок электроприемников квартир в условиях ограниченного объема данных / Р.Г. Валеев, М.А. Дзюба, В.И. Сафонов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2024. Т. 24, № 1. С. 26–35. DOI: 10.14529/power240103

Original article  
DOI: 10.14529/power240103

## SPECIFIC POWER ADJUSTMENTS FOR THE ELECTRIC LOAD OF ELECTRICAL RECEIVERS IN APARTMENTS UNDER LIMITED DATA CONDITIONS

**R.G. Valeev**<sup>1</sup>, [valeevrg@susu.ru](mailto:valeevrg@susu.ru), <https://orcid.org/0009-0009-7157-2835>  
**M.A. Dzyuba**<sup>1</sup>, [dziubama@susu.ru](mailto:dziubama@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3270-6190>  
**V.I. Safonov**<sup>1</sup>, [safonovvi@susu.ru](mailto:safonovvi@susu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6452-9286>  
**M.V. Valeeva**<sup>1</sup>, [valeevamv@susu.ru](mailto:valeevamv@susu.ru)  
**A.G. Murdid**<sup>2</sup>, [chmss74@mail.ru](mailto:chmss74@mail.ru)  
**E.A. Kochetov**<sup>3</sup>, [e.kochetov@golos.click](mailto:e.kochetov@golos.click)

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Chelyabinsk Interregional Union of Builders, Chelyabinsk, Russia

<sup>3</sup> "Group Golos" LLC, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** A study of load graphs with 30-minute averaging was carried out in 17 apartments and 132 apartment buildings in the Chelyabinsk region for one year. Based on the data, simulation objects were also created by adding load graphs in the range from 6 to 1,000 apartments per building. The activity of electricity consumers in the monitored

buildings was assessed by the ratio of the average monthly consumption of the apartments to the average monthly electricity consumption. Based on this indicator, consumers were classified into three activity categories, allowing for controlled modeling. Based on the calculations, the specific power of electric loads of the electrical receivers in residential buildings can be reduced in comparison with the values given in the design and building rules (SP 256.1325800.2016). The results coincide with the standards in force in the Moscow agglomeration.

**Keywords:** electric loads, residential apartment buildings, statistical data processing, power consumption standards

**Acknowledgments.** This research was carried out with the Union of Construction Companies of the Urals and Siberia – “The study of electricity consumption of apartment buildings to substantiate specific indicators and a correction factor for calculating electric loads of residential buildings with electric stoves in the Chelyabinsk region”.

**For citation:** Valeev R.G., Dzyuba M.A., Safonov V.I., Valeeva M.V., Murdid A.G., Kochetov E.A. Specific power adjustments for the electric load of electrical receivers in apartments under limited data conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2024;24(1):26–35. (In Russ.) DOI: 10.14529/power240103

## Введение

Правильный расчет электрических нагрузок крайне важен при проектировании электрических сетей коммунально-бытовых потребителей. Занижение нагрузки неизбежно скажется на надежности электроснабжения, а завышение нагрузки невыгодно экономически.

Первые исследования, посвященные расчету электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей, выполнялись в 50-х годах прошлого века [1, 2], но только к концу 60-х годов приобрели систематический характер [3]. На основе этих исследований была сформирована нормативная база, которая без значительных изменений существует и сейчас [4].

Свод правил [4] не учитывает изменения режимов работы и установленных мощностей бытовых приборов [5], что приводит к систематической погрешности в расчёте [6, 7]. Допущенные ошибки в определении электрической нагрузки жилых многоквартирных домов сказываются на оптимальности выбора оборудования электрических сетей и определения целесообразной заявленной мощности [8]. Следовательно, методы расчета электрических нагрузок и их нормативная база нуждаются в корректировке [9–11].

Теоретические и экспериментальные исследования способов корректировки справочно-нормативной базы проводились постоянно [9, 10]. Но продолжение активного жилищного строительства при неизменных нормативах привело к всплеску интереса к проблеме расчета электрических нагрузок квартир в последние годы.

В работе [11] было проведено комплексное исследование городских трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ в различных регионах РФ. Исследование показало, что загрузка 70–80 % трансформаторов составляет менее 30 % номинальной мощности, а половина из них работает с максимальной загрузкой менее 15 % в течение года.

Научная группа из КГЭУ и Ассоциации «Росэлектромонтаж» провела исследования электрических нагрузок в течение 4 лет в 5200 многоквартирных домах в Республике Татарстан [12]. Статистическая обработка результатов показала, что фактические электрические нагрузки в меся-

цы максимального электропотребления (ЭП) в 1,5–2,5 раза ниже, чем представленные в [4]. Аналогичные выводы были сделаны по результатам исследования [13] 150 жилых домов г. Москвы. Полученные результаты [12, 13] позволили обосновать допустимость снижения расчетной электрической нагрузки при проектировании жилых многоквартирных домов и разработать новые региональные нормативы удельных электрических нагрузок для расчета заявленной мощности [14].

Единые нормативы для всей территории РФ нецелесообразны [15], и федеральный документ [4] позволяет вводить региональные значения удельных электрических нагрузок, но на практике этим положением воспользовались только два региона. В Московском регионе была принята «Инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий» РМ-2696 [16]. В настоящее время для московской агломерации используются поправки на удельные электрические нагрузки в [4].

Несмотря на доказанную эффективность корректировки удельной мощности квартир и заинтересованность строительных организаций, введение региональных нормативов остается непростой задачей. По мнению авторов данной статьи, основной причиной этого является объем необходимой информации. Далеко не каждому региону доступно исследование 5200 домов в течение 4 лет, как было сделано в Республике Татарстан [12]. В регионах только новые объекты строительства оборудованы системой автоматизированного учета электрической энергии. Однако исследования для жилых многоквартирных домов с малым сроком эксплуатации неэффективны для выяснения предельных электрических нагрузок [3], так как далеко не во всех квартирах достигнут установившийся режим потребления электроэнергии. Поэтому для сбора данных необходима модернизация или замена приборов учета электроэнергии, чтобы получить график мощности нагрузки с 30-минутным усреднением.

В работе [17] показано, что в многоквартирном доме 90 % электроэнергии приходится на 82 % квартир дома. Таким образом, 18 % квартир с наименьшим потреблением можно не учитывать при определении удельной мощности квартир это-

го дома. Именно ошибка при определении количества активных потребителей электроэнергии в доме и приводит к необходимости обработки выборок большого объема. Срок 4 года в [12] также служит в основном для статистической корректировки допущенной ошибки, поскольку экстремальные для данного региона погодные условия могут наблюдаться в течение уже первого года мониторинга.

Организация дальнейшей полной статистической обработки результатов измерений с применением стандартных методов [12, 13, 15, 17, 18], таких как получение нормальных распределений величин, аппроксимационных функций и т. д., тоже не является обязательной при ответе на вопрос о предельных значениях удельных мощностей квартир в доме с заданным числом квартир. В работе [17] для определения поправочного коэффициента к существующим в [4] значениям были использованы только данные об объектах с максимальным режимом. Следовательно, необходима другая методика сбора и обработки данных, не требующая большого количества данных.

Настоящая работа посвящена способу обработки данных об удельных мощностях квартир, предусматривающему целенаправленное моделирование объектов с наибольшими значениями удельных мощностей на основе экспериментальных данных о графиках нагрузки в реальных объектах мониторинга с 30-минутным усреднением и данных об интенсивности электропотребления в данном регионе. Работа выполнена на основе указанных данных для Челябинской области.

#### Создание модельных объектов и их анализ

Объектом мониторинга в исследовании были квартиры или жилые многоквартирные дома с электрическими плитами. Из-за сложностей в организации сбора данных для мониторинга количество объектов мониторинга было ограничено

30 квартирами и 132 жилыми домами. Поэтому возникла необходимость в создании имитационных объектов, что широко используется в различных областях исследований [19]. Для создания модельных объектов мониторинга было использовано два приема:

- создание имитационных объектов мониторинга путем комбинирования реальных объектов;
- оценка вклада данного объекта (реального или имитационного) в максимально возможную при данных условиях удельную мощность.

Для получения имитационного объекта мониторинга был использован следующий алгоритм:

- выбирается несколько (от 2 до 8) реальных объектов мониторинга так, чтобы суммарное количество квартир было в заданном промежутке;
- для выбранных комбинаций данных производится согласованное (по дате и времени суток) сложение графиков ЭП в течение года для получения имитационного графика нагрузки.

Такой прием был использован в основном для получения объектов мониторинга в диапазонах 150–1000 квартир и 6–60 квартир, где наблюдался недостаток данных по реальным объектам. На интервале 150–1000 квартир комбинировались нагрузки различных многоквартирных домов, на интервале 6–60 квартир комбинировались нагрузки многоквартирных домов и квартир.

Для оценки интенсивности ЭП на объекте мониторинга был проведен общий анализ ежемесячного ЭП квартир. Анализ был проведен для 8200 потребителей из 106 домов в течение 12 месяцев. Зависимость вероятности потребления электроэнергии (для интервала 10 кВт·ч) от величины ежемесячного ЭП показана на рис. 1. Экспериментальные данные изображены точками.

Анализ зависимости на рис. 1 позволил выявить три типа потребителей электроэнергии: неактивные, активные и очень активные. Данный вывод сделан исходя из того, что зависимость уда-

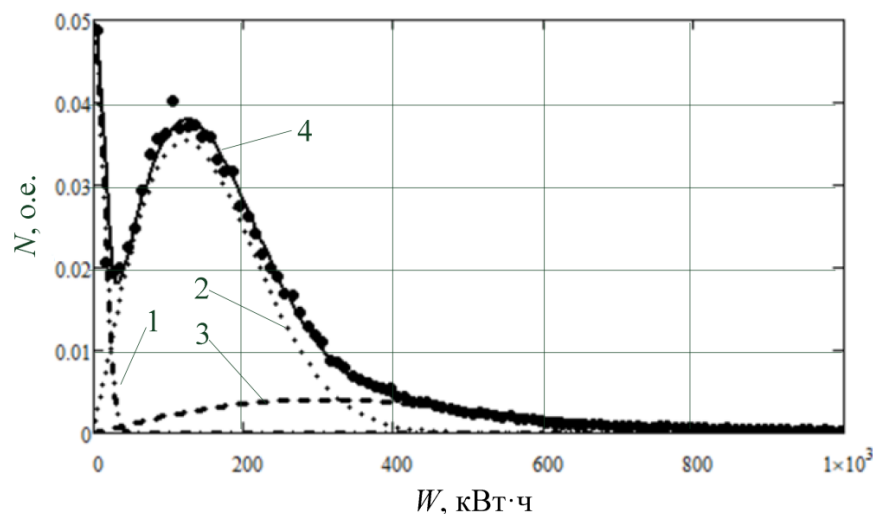


Рис. 1. Зависимость вероятности ЭП от его величины  
Fig. 1. Dependence of the probability of electricity consumption on its value

лось аппроксимировать в виде суммы трех распределений Рэля (линия 4 на рис. 1). Распределение Рэля [20] в статистике играет роль нормального распределения при условии, что аргумент может быть только положительным.

Первый тип потребителей (штрих-пунктирная линия 1 на рис. 1) – это потребители, которые потребляют электроэнергию крайне эпизодически. Анализ показывает, что к неактивным потребителям можно отнести потребителей с ежемесячным потреблением менее 15 кВт·ч. Это меньше, чем потребляет постоянно включенный холодильник. Естественно, такие потребители не должны учитываться в дальнейшем анализе, поскольку они фактически не оказывают влияние на загрузку питающей кабельной линии.

Второй тип потребителей (точечная линия 2 на рис. 1) – это потребители, у которых постоянная составляющая нагрузки существенно меньше переменной составляющей. В зависимости от величины энергопотребления они оказывают влияние на питающую кабельную линию, но при малом энергопотреблении это влияние либо не постоянно (рис. 2а), либо с небольшими максимумами нагрузки (рис. 2б). При большом числе квартир (более 100) на объекте вклад всех этих потребителей нужно учитывать. Но в случае малого числа

квартир (менее 24) весьма вероятна ситуация, когда их доля на реальном объекте будет отличаться от среднестатистического распределения. Поэтому в случае объектов с малым количеством квартир число таких потребителей нужно ограничивать при создании модельных объектов.

Третий тип потребителей (пунктирная линия 3 на рис. 1) – это потребители с существенной постоянной составляющей потребления (рис. 2с) и значительно большими значениями максимальной мощности. Расчеты показывают, что доля потребителей с устойчивым ежемесячным потреблением более 525 кВт·ч составляет около 5%. Именно такие потребители и создают максимальные нагрузки в многоквартирных домах (до 24 квартир).

Если исключить из рассмотрения неактивных потребителей (менее 15 кВт·ч в месяц), то среднее значение потребляемой мощности в течение месяца будет  $W_{cp} = 200$  кВт·ч при расчете по экспериментальным данным и  $W_{cp} = 202$  кВт·ч – при расчете по аппроксимационной зависимости (сплошная линия 4 на рис. 1). Отношение величины среднемесячного потребления электроэнергии на объекте  $W_{об}$  к среднестатистическому значению  $W_{cp}$  будет использоваться как критерий активности потребителей  $K_{об} = W_{об}/W_{cp}$  на данном (реальном или модельном) объекте мониторинга.

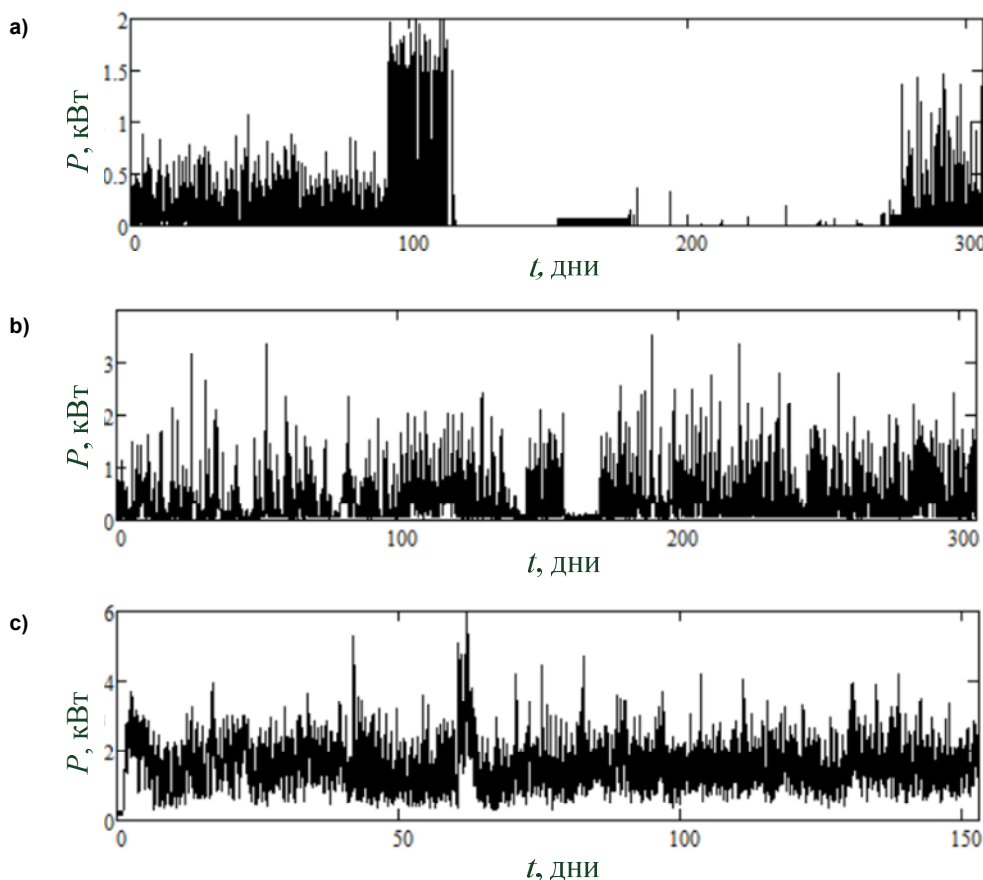


Рис. 2. Зависимости потребляемой мощности квартир от времени  
Fig. 2. Dependence of electricity consumption of apartments on time

На модельном объекте, который можно рассматривать как объект с наибольшей возможной удельной мощностью, подбор потребителей не может осуществляться случайным образом. Жилой дом может обладать некоторыми специальными характеристиками (например, привлекательное расположение), которые приведут к тому, что квартиры в нем приобретут более активные потребители электроэнергии. Среднее потребление электроэнергии при условии, что потребители очень активные (более 525 кВт·ч в месяц или 5 % от всех потребителей), составляет  $W_{cp(ен)} = 930$  кВт·ч. Отношение величины среднемесячного потребления электроэнергии  $W_{об}$  к  $W_{cp(ен)}$  будет использоваться как критерий специфичности  $K_{об(ен)} = W_{об}/W_{cp(ен)}$  данного (реального или модельного) объекта мониторинга.

Используя полученные выводы при дальнейшем анализе:

– из количества квартир на объекте мониторинга исключались квартиры, среднемесячное потребление которых было менее 15 кВт·ч в течение года;

– рассчитывалось среднемесячное ЭП для объекта мониторинга и оценивался его возможный вклад в удельную мощность путем сравнения со статистическими данными об электропотреблении;

– объекты мониторинга с малым количеством квартир (до 24) принудительно создавались из потребителей путем суммирования графиков нагрузок с ежемесячным потреблением электроэнергии выше 525 кВт·ч.

Данные о среднемесячном потреблении электроэнергии на этих объектах с малым количеством квартир приведены в табл. 1. Критерий интенсивности потребления объектов  $K_{об}$  изменяется от 3,9 до 5,5, что свидетельствует о высокой активности потребителей на этих объектах по сравнению со среднестатистическими значениями.

Для каждого объекта из графиков мощностей нагрузок с 30-минутным усреднением были выбраны максимальные суточные значения. Функция распределения величин этих максимумов показана на рис. 3 для объекта с 6 квартирами. На рис. 3 также показана функция нормального распределения, полученная после проверки статистической гипотезы. Подтверждение гипотезы свидетельствует о том, что максимумы мощности зависят от большого числа мелких факторов, что, в свою очередь, свидетельствует о достаточности периода наблюдения.

Для зависимости на рис. 3 математическое ожидание  $M = 12,7$  кВт,  $\sigma = 2,2$  кВт. Следовательно, наибольшее прогнозируемое значение  $M + 4\sigma = 21,5$  кВт, что соответствует удельной мощности 3,59 кВт. Критерий по прогнозируемому значению  $M + 4\sigma$  взят, чтобы иметь определенный запас пропускной способности системы электроснабжения при другом характере ЭП или возможном будущем увеличении интенсивности ЭП. Однако при увеличении  $W_{cp(ен)}$  в 2–3 раза прогнозируемая величина удельной мощности может быть превышена.

Показатели объектов мониторинга в диапазоне 6–18 квартир

Таблица 1

Indicators of monitored objects in the range of 6–18 apartments

Table 1

Кол-во квартир	Среднемесячное потребление квартиры, кВт·ч/кв.	$W_{об}/W_{cp}$	$W_{об}/W_{cp(ен)}$	Максимальная удельная мощность, кВт/кв.
6	1113	5,51	1,26	3,59
9	1036	5,13	1,17	3,31
12	914	4,43	1,02	2,75
15	833	4,12	0,94	2,39
18	794	3,93	0,89	1,99

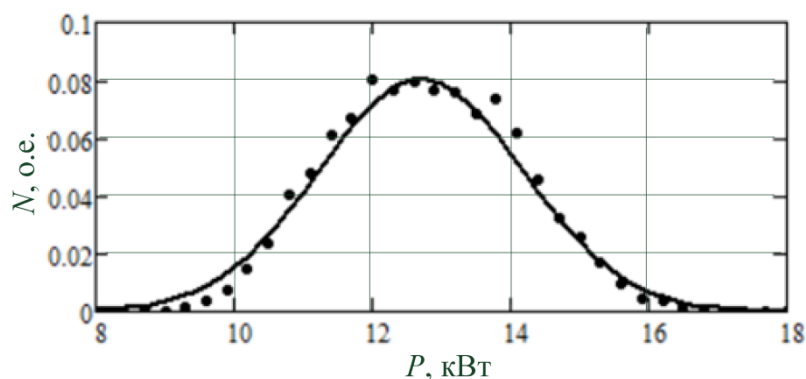


Рис. 3. Распределение суточных максимумов мощности для модельного объекта из 6 квартир  
Fig. 3. Distribution of maximum daily electricity values for a model with 6 apartments

Степень активности потребителя (среднемесячное потребление электроэнергии на одну квартиру  $W$ , кВт·ч/кв.) и количество квартир на объекте мониторинга ( $N$ , шт.) показаны на рис. 4 для 132 многоквартирных жилых домов. Данные представлены после корректировки количества активных потребителей электроэнергии.

Среднемесячное ЭП квартиры для всех объектов составило  $W_{cp} = 211$  кВт·ч. Относительная ошибка в 2,5 % в определении  $W_{cp}$  по данным энергосбыта и скорректированным данным о количестве квартир свидетельствует о том, что корректировка выполнена верно. Анализ рис. 4 показывает, что среди объектов мониторинга есть объекты с малым удельным ЭП.

Малая интенсивность ЭП зафиксирована в основном в домах, введенных в эксплуатацию в последние 2–3 года, что соответствует данным в [3].

Обработка данных по удельной мощности квартир была выполнена отдельно для диапазонов 24–60 квартир, 60–600 квартир и 600–1000 квартир, где наблюдались явно выраженные линейные зависимости. Далее для описания методики обработки данных приведены результаты только для диапазона 60–600 квартир.

Максимальные прогнозируемые удельные мощности (точки) по критерию  $M + 3\sigma$  представлены на рис. 5 в диапазоне 60–600 квартир с учетом корректировки данных.

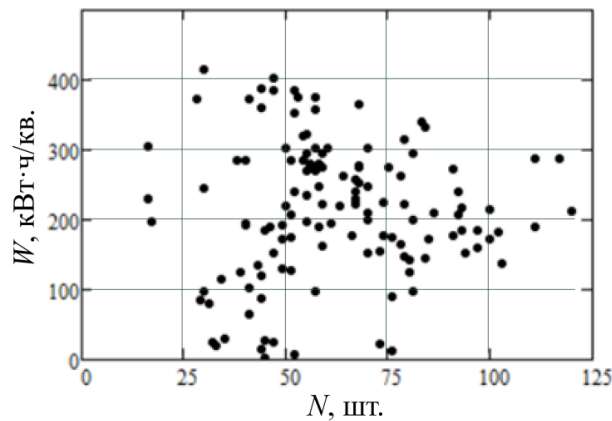


Рис. 4. Степень активности потребителей на объектах мониторинга  
Fig. 4. Degree of consumer activity in the monitored buildings

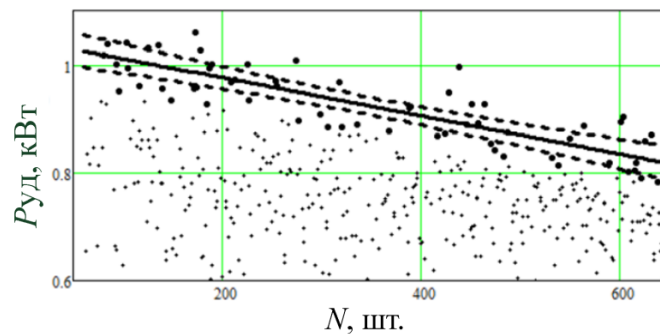


Рис. 5. Удельная мощность квартир для объектов мониторинга  
Fig. 5. Specific electricity use of monitored apartments

Результаты регрессионного анализа

Таблица 2

Table 2

Results of regression analysis

Параметр	Значение
Коэффициент корреляции $r$	0,84
Гипотеза линейности	$0,84 > 0,279$
Параметр регрессии $a$ , кВт	1,046
Параметр регрессии $b$ , Вт/кв	-0,354
Оценка дисперсии $D$	0,0018
Стандартное отклонение коэффициента $a$ , %	2,2
Стандартное отклонение коэффициента $b$ , %	16,8
Погрешность коэффициента $a$ , кВт	0,012
Погрешность коэффициента $b$ , Вт/кв.	0,029

Удельные мощности квартир в диапазоне 60–600 квартир

Table 3

Specific capacities of apartments in the range of 60–600 apartments

Удельная мощность, кВт/кв.	0,995–1,055	0,984–1,038	0,955–0,996	0,888–0,922	0,807–0,862
Кол-во квартир, шт.	60	100	200	400	600

Из представленного на рис. 5 набора данных выбраны объекты с наибольшим вкладом в удельную мощность (крупные точки), и для этих объектов выполнен регрессионный анализ. Результаты регрессионного анализа, проведенного согласно алгоритму в [20], сведены в табл. 2.

Регрессионная зависимость (сплошная линия) и коридор ошибок (пунктирные линии) также представлены на рис. 5. Наблюдается некоторое количество отклонений в сторону высоких удельных мощностей, что может объясняться не совсем точной корректировкой количества квартир на некоторых объектах мониторинга.

В табл. 3 приведены коридоры ошибок, полученные для удельной мощности электрических нагрузок электроприемников квартир. Оценка удельной мощности выполнена для количества квартир, приводимых в табл. 7.1 СП 256.1325800.2016 [4].

#### Обсуждение результатов и выводы

Исследование интенсивности ЭП выявило наличие около 1 % потребителей с ежемесячным потреблением более 2000 кВт·ч и даже 1 потребителя со средним ежемесячным ЭП в 7105 кВт·ч в течение года. Пока доля таких потребителей невелика, их наличие в многоквартирном доме компенсируется малоактивными потребителями. Но при серьезном увеличении процентного соотношения очень активных потребителей это может привести к возможным перегрузкам в системе электроснабжения. Особенно вероятность такого события возрастает в домах с малым числом квартир. Также существенное смещение максимума распределения на рис. 1 в сторону больших значений может вызвать перегрузки в системе даже в многоквартирных домах.

Снижение нормативов удельных электрических нагрузок квартир принимается на основании текущих данных об электропотреблении [12], но объекты, для проектирования которых используются нормативные данные, должны будут функционировать в течение десятков лет. Таким образом, необходим анализ, какие из изменений уровня ЭП допустимы в случае корректировки значений удельной мощности. И нежелательные уровни ЭП нужно ограничивать экономически, а недопустимые уровни потребления ограничивать технически

и законодательно. Только в этом случае в дальнейшем не придется сожалеть об изменении нормативных показателей.

Систематическая ошибка, вносимая неопределенностью в возможном изменении профиля ЭП, на взгляд авторов является основным фактором, определяющим ошибку в расчете удельных мощностей квартир в табл. 7.1 в [4]. Согласно теории ошибок [20] систематическую ошибку нельзя уменьшить за счет увеличения количества измерений как в [12]. Вместе с тем создание модельных объектов позволяет предсказать ситуации, в которых будет достигаться максимальная мощность при различных профилях ЭП, и выявить уровни ЭП, опасные для системы электроснабжения.

Моделирование ситуаций, связанных с изменениями в профиле ЭП, в настоящей работе не проводилось. Запас прочности принимаемого решения обеспечивался за счет учета значений для объектов по критерию  $3\sigma$ , т. е. с вероятностью ошибки не более 0,15 %.

Создание модельных объектов путем суммирования графиков нагрузок реальных объектов мониторинга позволило провести корректировку удельных мощностей электрических нагрузок квартир в табл. 7.1 в [4] на основании данных о мониторинге графиков нагрузки в 132 многоквартирных жилых домах и 30 квартирах. Оценка интенсивности ЭП объекта и оценка вероятности появления объектов при моделировании ЭП, существующей в регионе, позволила утверждать, что удельная мощность квартир в данных объектах близка к максимально возможной при существующей модели ЭП. Возникновение в период мониторинга погодных условий, близких к максимально возможным в данном регионе, позволило утверждать, что в модели ЭП учтены эти ситуации и нет необходимости продолжать мониторинг.

В результате исследования подтверждена возможность уменьшения удельных показателей мощности электрических нагрузок электроприемников квартир с электрическими плитами по сравнению со значениями, приводимыми в табл. 7.1. в [4]. Полученные результаты почти совпадают со значениями, приводимыми в региональных нормативах для Московской области [21].

### Список литературы

1. О нагрузках электрических сетей в районах нового жилищного строительства в Москве / Б.М. Баранов, К.С. Кузнецов, Г.В. Мирер, С.Г. Перепелицкий // Электрические станции. 1950. № 6. С. 28–36.
2. Киреев М.И. Электрические нагрузки жилых и общественных зданий // Электрические станции. 1950. № 6. С. 45–53.
3. Федосенко Р.Я. Надежность электроснабжения и электрические нагрузки. М.: Энергия, 1967. 160 с.
4. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: Стандартинформ, 2017. 84 с.
5. Соловьева А.С., Шведов Г.К. Сравнительный анализ зимних и летних графиков электрической нагрузки рабочих и выходных дней многоквартирных домов с электроплитами в системах электроснабжения крупных городов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23, № 1. С. 27–37. DOI: 10.14529/power230103
6. Жохов Б.Д. Анализ причин превышения расчетных нагрузок // Промышленная энергетика. 1998. № 7. С. 17–21.
7. О причинах превышения расчетных значений пиков и впадин графиков электрической нагрузки / В.П. Степанов, Е.А. Кротков, А.С. Ведерников и др. // Промышленная энергетика. 2006. № 1. С. 27–31.
8. Солюянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. Энергосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 1. С. 156–166. DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-156-166
9. Саков В.В. Исследование и разработка математических моделей и методики расчета электрических нагрузок жилых зданий: дис. ... канд. техн. наук. М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2007.
10. Павлов А.В. Повышение точности расчетов электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2016.
11. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан / Ю.И. Солюянов, А.И. Федотов, Ю.Я. Галицкий и др. // Электричество. 2021. № 6. С. 62–71. DOI: 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71
12. Актуализация электрических нагрузок многоквартирных домов / Ю.И. Солюянов, А.И. Федотов, Д.Ю. Солюянов, А.Р. Ахметшин // Вестник Чувашского университета. 2020. № 1. С. 180–189.
13. Расчет удельных электрических нагрузок жилых зданий на основании фактических замеров / А.Р. Ахметшин, Ю.И. Солюянов, А.И. Федотов и др. // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2022. Т. 25, № 4. С. 313–323. DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323
14. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан «О внесении изменений в постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 27.12.2013 № 1071 «Об утверждении республиканских нормативов градостроительного проектирования Республики Татарстан» от 09.09.2019 № 805. URL: [https://pravo.tatarstan.ru/npa\\_kabmin/post/?npa\\_id=418233](https://pravo.tatarstan.ru/npa_kabmin/post/?npa_id=418233).
15. Солюянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Совершенствование нормативной базы по определению расчетной электрической нагрузки для снижения затрат в жилищном строительстве // Вестник ПИТТУ имени академика М.С. Осими. 2022. № 3 (24). С. 29–43.
16. Инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий. М.: ГУП «НИАЦ», 1999. 16 с.
17. Солюянов 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
18. Актуализация удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы и Московской области / Ю.И. Солюянов, А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин и др. // Электричество. 2023. № 7. С. 52–65. DOI: 10.24160/0013-5380-2023-7-52-65
19. Bruce P., Bruce A., Gedeck P. Practical Statistics for Data Scientists, 2020.
20. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа: учеб. пособие для вузов. Л.: Химия, 1984. 168 с.
21. Методика расчёта электрических нагрузок многоквартирных домов. М.: Правительство Москвы. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы, 2020. 19 с.



### References

1. Baranov B.M., Kuznetsov K.S., Mirer G.V., Perepelitsky S.G. [About the loads of electrical networks in areas of new housing construction in Moscow]. *Elektricheskie stantsii*. 1950;(6):28–36. (In Russ.)
2. Kireev M.I. [Electrical loads of residential and public buildings]. *Elektricheskie stantsii*. 1950;(6):45–53. (In Russ.)
3. Fedosenko R.Ya. Fedosenko R.Ya. *Nadezhnost' elektrosnabzheniya i elektricheskie nagruzki* [Reliability of power supply and electrical loads]. Moscow: Energiya; 1967. 160 p. (In Russ.)
4. *SP 256.1325800.2016*. [Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules]. Moscow: Standartinform; 2017. 84 p. (In Russ.)
5. Solovyova A.S., Shvedov G.V. A comparative analysis of the electric load on weekdays and weekends of multi-apartment buildings with electric stoves in the power supply systems of large cities. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2023;23(1):27–37. (In Russ.) DOI: 10.14529/power230103
6. Zhokhov B.D. [Analysis of the reasons for overestimating design loads]. *Industrial power engineering*. 1998;(7):17–21. (In Russ.)
7. Stepanov V.P., Krotkov E.A., Vedernikov A.S., Gudkov A.V., Idiatulin R.F. [On the reasons for overestimating the calculated values of the peaks and troughs of electrical load graphs]. *Industrial power engineering*. 2006;(1):27–31. (In Russ.)
8. Soluyanov Yu.I., Akhmetshin A.R., Soluyanov V.I. Energy-resource-saving effect in the electric supply systems of residential complexes from updating the electric load regulations. *Proceedings of higher educational institutions. Energy sector problems*. 2021;23(1):156–166. (In Russ.) DOI: 10.30724/1998-9903-2021-23-1-156-166
9. Sakov V.V. *Issledovanie i razrabotka matematicheskikh modeley i metodiki rascheta elektricheskikh nagruzok zhilykh zdaniy: dis. kand. tekhn. nauk* [Research and development of mathematical models and methods for calculating electrical loads of residential buildings. Cand. sci. diss.]. Moscow: National Research University “MPEI”; 2007. (In Russ.)
10. Pavlov A.V. *Povyshenie tochnosti raschetov elektricheskikh nagruzok kommunal'no-bytovykh potrebiteley mikrorayonov megapolisov: dis. kand. tekhn. nauk* [Increasing the accuracy of calculations of electrical loads of municipal consumers in microdistricts of megacities. Cand. sci. diss.]. Novocherkassk; 2016. (In Russ.)
11. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Galitsky Yu.Ya., Chernova N.V., Akhmetshin A.R. Updating the standard specific electric loads of apartment buildings in the Republic of Tatarstan. *Elektrichestvo*. 2021;(6):62–71. (In Russ.) DOI: 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71
12. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Soluyanov D.Yu., Akhmetshin A.R. Actualization of electrical loads of multi-apartment residential houses. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*. 2020;(1):180–189. (In Russ.)
13. Akhmetshin A.R., Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Chernova N.V., Soluyanov V.I. Calculation of specific electrical loads of residential buildings based on actual measurements. *Vestnik of MSTU. Scientific journal of Murmansk State Technical University*. 2022;25(4):313–323. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323
14. *Postanovlenie Kabineta Ministrov Respubliki Tatarstan “O vnesenii izmeneniy v postanovlenie Kabineta Ministrov Respubliki Tatarstan ot 27.12.2013 No. 1071 ‘Ob utverzhdenii respublikanskikh normativov gradostroitel'nogo proektirovaniya Respubliki Tatarstan’” ot 09.09.2019 No. 805* [Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan “On amendments to the resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated December 27, 2013 No. 1071 ‘On approval of republican standards for urban planning of the Republic of Tatarstan’” dated 09.09.2019 No. 805]. (In Russ.) Available at: [https://pravo.tatarstan.ru/npa\\_kabmin/post/?npa\\_id=418233](https://pravo.tatarstan.ru/npa_kabmin/post/?npa_id=418233).
15. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R. [Improving the regulatory framework for determining the design electrical load to reduce costs in housing construction]. *Bulletin of PITTU named after academician M.S. Oshimi*. 2022;3(24):29–43. (In Russ.)
16. *Instruktsiya po raschetu elektricheskikh nagruzok zhilykh zdaniy* [Instructions for calculating electrical loads of residential buildings]. Moscow: State Unitary Enterprise “NIAC”; 1999. 16 p. (In Russ.)
17. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R. Calculation of the correction factor to the normative values of specific electric loads of multiple residential buildings Moscow and Moscow region. *Proceedings of higher educational institutions. Energy sector problems*. 2022;24(4):142–153. (In Russ.) DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-4-142-153
18. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R., Chernova N.V., Soluyanov V.I. Updating the specific electrical loads of apartment buildings in Moscow and Moscow region. *Elektrichestvo*. 2023;(7):52–65. (In Russ.) DOI: 10.24160/0013-5380-2023-7-52-65
19. Bruce P., Bruce A., Gedeck P. *Practical Statistics for Data Scientists*; 2020.
20. Charykov A.K. *Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza: ucheb. posobie dlya vuzov* [Mathematical processing of chemical analysis results: Textbook for universities]. Leningrad: Khimiya; 1984. 168 p. (In Russ.)

21. *Metodika rascheta elektricheskikh nagruzok mnogokvartirnykh domov* [Methodology for calculating electrical loads of apartment buildings]. Moscow: Moscow Government. Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow; 2020. 19 p. (In Russ.)

***Информация об авторах***

**Валеев Рустам Галимянович**, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; valeevrg@susu.ru.

**Дзюба Михаил Александрович**, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; dziubama@susu.ru.

**Сафонов Валерий Иванович**, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; safonovvi@susu.ru.

**Валеева Марина Владимировна**, начальник Вычислительного центра, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; valeevamv@susu.ru.

**Мурдид Андрей Григорьевич**, президент, Челябинский межрегиональный союз строителей, Челябинск, Россия; chmss74@mail.ru.

**Кочетов Евгений Анатольевич**, технический директор, ООО «Группа Голос», Челябинск, Россия; e.kochetov@golos.click.

***Information about the authors***

**Rustam G. Valeev**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Power Plants, Networks and Power Supply Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; valeevrg@susu.ru.

**Mikhail A. Dzyuba**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Power Plants, Networks and Power Supply Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; dziubama@susu.ru.

**Valery I. Safonov**, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Power Plants, Networks and Power Supply Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; safonovvi@susu.ru.

**Marina V. Valeeva**, Head of the Computer Center, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; valeevamv@susu.ru.

**Andrey G. Murdid**, President, Chelyabinsk Interregional Union of Builders, Chelyabinsk, Russia; chmss74@mail.ru.

**Evgeniy A. Kochetov**, Technical Director, “Group Golos” LLC, Chelyabinsk, Russia; e.kochetov@golos.click.

***Статья поступила в редакцию 30.11.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2024; принята к публикации 22.02.2024.***

***The article was submitted 30.11.2023; approved after review 22.02.2024; accepted for publication 22.02.2024.***