

## Актуализация удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы и Московской области

СОЛУЯНОВ Ю.И.<sup>1</sup>, ФЕДОТОВ А.И.<sup>2</sup>, АХМЕТШИН А.Р.<sup>2</sup>, ЧЕРНОВА Н.В.<sup>1</sup>,  
СОЛУЯНОВ В.И.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Ассоциация "Росэлектромонтаж", Москва, Россия

<sup>2</sup>КГЭУ, Казань, Россия

<sup>3</sup>"Татэлектромонтаж", Казань, Россия

*Удельные электрические нагрузки многоквартирных жилых домов служат основой для выбора электрических сетей и электрических подстанций систем электроснабжения городских микрорайонов. При этом опыт эксплуатации выбранного по расчетной нагрузке электрооборудования показывает низкий коэффициент загрузки трансформаторов подстанций. Причина заключается в несоответствии нормативных значений удельного электропотребления, регламентируемых СП 256.1325800.2016 [1], фактической нагрузке. Их корректировка на региональном уровне (в рамках Программы реновации жилищного строительства Москвы) позволила улучшить ситуацию, однако принципиально ее не изменила. В 2021–2022 гг. Ассоциация «Росэлектромонтаж» проводила непрерывный мониторинг электропотребления многоквартирных жилых домов Москвы и Московской области. На основе статистической обработки полученных результатов обосновано предложение объединить их в единую агломерацию при нормировании удельных электрических нагрузок. Проведены исследования электропотребления жилых зданий различной этажности и построены тренды, характеризующие зависимость значений электрической нагрузки от числа квартир. Внесены предложения об изменении соответствующих федеральных нормативов.*

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** удельная электрическая нагрузка, электропотребление, многоквартирные жилые дома, нормативные значения, агломерация городская

Проблема завышенных нормативных значений удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов (МКД) актуальна на протяжении последних двух десятилетий, чему посвящены многочисленные публикации [1–14]. Она обусловлена несбывшимся прогнозом конца XX века о росте электрических нагрузок за счет насыщения квартир бытовой техникой. Действительно, количество электроприборов в каждой семье в среднем возросло, но одновременно проявился неучтенный фактор: энергосберегающие технологии. В результате образовался разрыв между фактическими и нормативными значениями электрической нагрузки, используемыми при расчете и выборе сечения сетей и мощности трансформаторов. Отсутствие интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ЭЭ) на момент разработки норм удельных электрических нагрузок МКД в регламентирующих документах также не способствовало их обоснованию. Впервые на примере городского микрорайона под руководством проф. И.И. Надтоки были выполнены подробные измерения суточных графиков нагрузки как квартир, так и общедомового электропотребления [6], показавшие завышение нормативных значений удельных электрических нагрузок квартир в среднем в два и более раза.

На региональном уровне были реализованы две попытки пересмотра нормативов [15]. В Республике

Татарстан в течение двух лет проводился мониторинг электрических нагрузок МКД [16], в результате были утверждены пониженные нормы удельных электрических нагрузок МКД, включающие общедомовую нагрузку (ОДН) без коммерческих потребителей [17], ориентированные на расчет мощности технологического присоединения. Процедура их обоснования основывалась на электрических нагрузках жилых домов в целом с учетом ОДН и не предназначалась для выбора электрооборудования. Другим примером служит целевое введение нормативных значений удельной электрической мощности МКД с учетом несилловых ОДН применительно к строящимся за счёт средств бюджета Москвы объектам, в том числе в рамках Программы реновации жилищного фонда в Москве [18]. В последние годы по результатам натурных измерений электрических нагрузок МКД усилиями Ассоциации «Росэлектромонтаж» и благодаря инициативе Федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС») при Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) были введены частичные изменения в федеральный документ [15] с помощью регионального поправочного коэффициента [19]. Однако на системном

уровне с охватом десятков МКД типовых проектов разной этажности, когда результаты измерений исчислялись несколькими млн единиц данных, масштабные натурные исследования были проведены на жилых зданиях Москвы и Московской области в 2021–2023 гг. при поддержке группы строительных компаний «Самолёт». Их результаты представлены ниже, где дается обоснование целесообразности формирования в [15] особой группы – электрических нагрузок МКД мегаполисов.

**Удельное электропотребление МКД Москвы и Московской области.** На рис. 1 представлен состав жилого фонда Москвы и Московской области на конец 2022 г. Выделены 5 кластеров МКД в зависимости от состава лифтов.

Согласно «Единой классификации многоквартирных жилых новостроек», разработанной Российской гильдией риэлторов в рамках «Федерального фонда содействия развитию жилищного строительства», все МКД можно разделить на два класса: массовое жилье, где выделены две группы – эконом- и комфорт-класс; жилье повышенной комфортности, где также выделены две группы – бизнес-класс и элит-класс.

Для эконом- комфорт-классов квартир заданы нижние границы общей площади квартир: 1-комн. – от 28 до 34 м<sup>2</sup>, 2-комн. – от 35 до 55 м<sup>2</sup>, 3-комн. – от 56 до 65 м<sup>2</sup>, 4-комн. – от 70 до 85 м<sup>2</sup>. Минстроем России издан Приказ от 29.04.2020 № 273/пр «Об утверждении условий отнесения жилых помещений к стандартному жилью», где одним из критериев отнесения жилья к стандартному служит общая площадь квартиры, которая не должна превышать 100 м<sup>2</sup>. В дальнейшем все МКД как Москвы, так и Московской области, где проводились измерения индивидуального и группового электропотребления, выбирались исходя из данного класса (массовое жилье, эконом-класс) средней площадью квартир 50–70 м<sup>2</sup> и общей площадью менее 100 м<sup>2</sup>. Диаграммы (рис. 2 и 3) показывают, что этажность МКД влияет на среднюю площадь квартир в Москве.

В связи с этим в каждой выборке любого кластера к расчетам принимались только квартиры общей площадью не свыше 100 м<sup>2</sup>. Квартиры большей площади относятся к другому классу жилья, для которого необходимы отдельные исследования. Как и в [6], выполнялась обязательная процедура исключения неэксплуатируемых квартир на интервалах съема информации, но этот интервал менялся в зависимости от поставленной задачи. Так, если представляла интерес максимальная суточная нагрузка, то контролировалась эксплуатация квартир только за рассматриваемые сутки. Для месячных интервалов наблюдения использовалась граница отсечения 20 кВт·ч, соответствующая примерно электропотреблению холодильника и других включенных бытовых приборов, остающихся в работе в ждущем режиме. На целесообразность рассмотрения режимов минимальной нагрузки впервые обращено внимание в [10], поскольку на основе такой информации электро-снабжающие и генерирующие компании могут реализовывать оптимальную стратегию текущих ремонтов электрооборудования.

Поскольку анализировалось электропотребление МКД типовых проектов, приведены результаты расчетов по одному кластеру 11–18 этажей. На рис. 3 представлены диаграммы месячного электропотребления МКД за два года. Для МКД пилотной выборки был определен день с максимальным суточным электропотреблением. По данным этого дня с учетом исключения малоэксплуатируемых квартир для МКД выборки найдено максимальное удельное суточное электропотребление квартир в зависимости от количества эксплуатируемых квартир (рис. 4), рассчитанное по данным за декабрь 2021 г.

Показания квартирных приборов учёта суммировались по каждому дому. Проведенные расчеты показали: количество эксплуатируемых квартир у МКД выборочной совокупности колеблется в диапазоне от 78 до 246; день с максимальным электропотреблением квартир для большинства МКД выборочной совокупности из 23 МКД (82 %) пришёлся на 31 декабря 2021 г.;

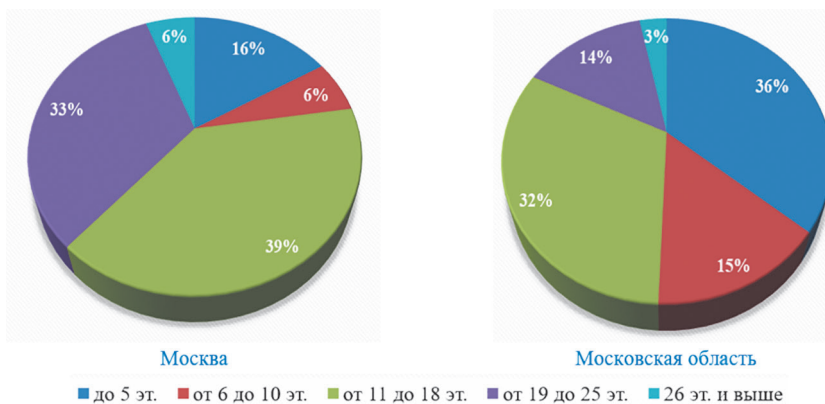


Рис. 1. Соотношение МКД различной этажности (2012–2022 гг.)

Fig. 1. The ratio of multi-apartment residential buildings of various heights (2012 – 2022)

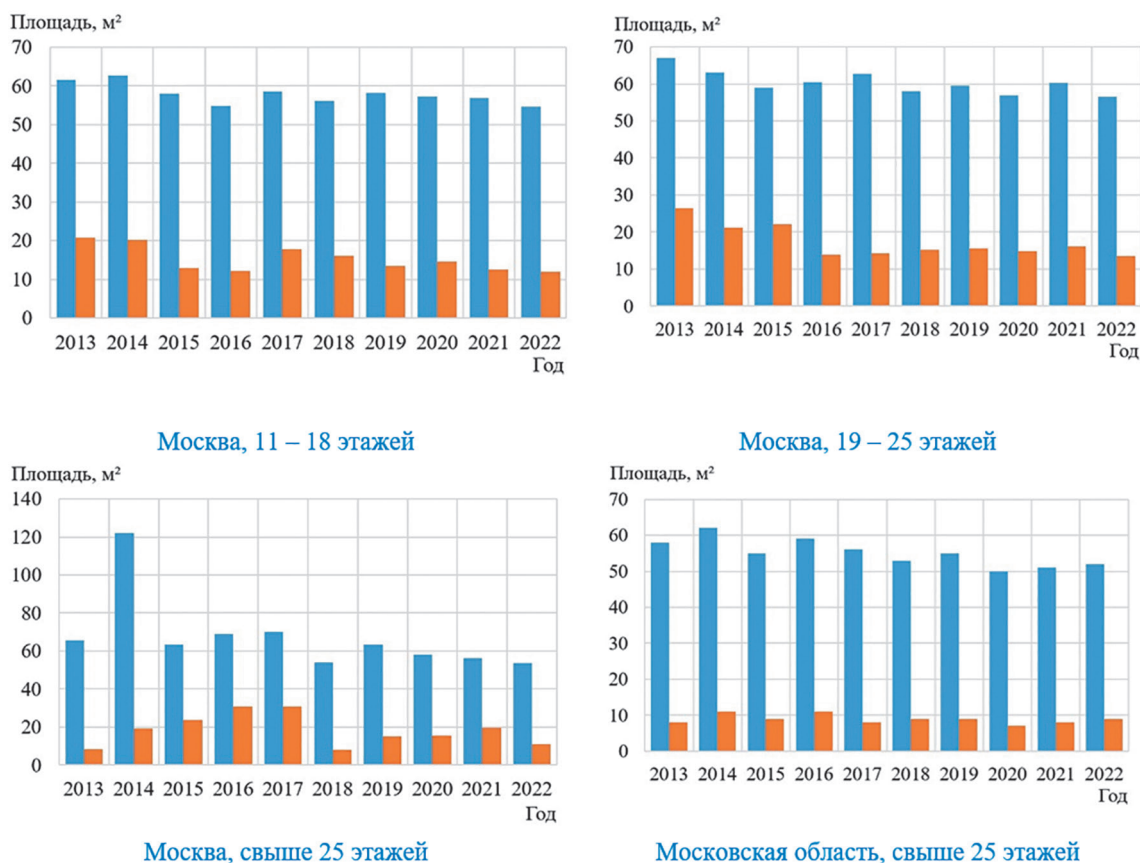


Рис. 2. Площадь квартир МКД типовых проектов Москвы и Московской области: ■ – средняя площадь квартир; ■ – среднеквадратическое отклонение

Fig. 2. The area of apartments in multi-apartment residential buildings of standard projects in Moscow and the Moscow Region: ■ – average area of apartments, ■ – standard deviation



Рис. 3. Максимальное удельное суточное электропотребление выборок МКД за период наблюдения апрель 2021 г. – февраль 2023 г.

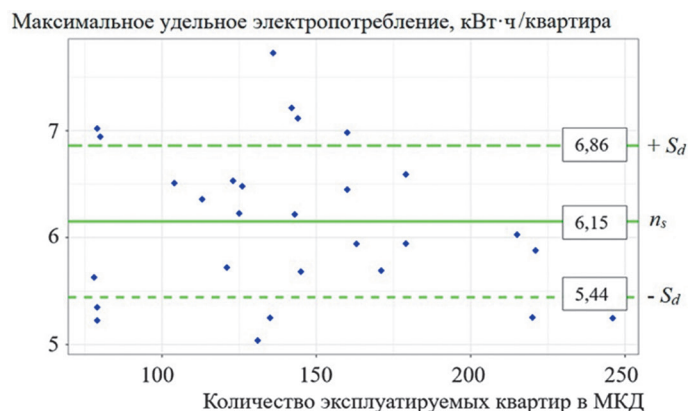
Fig. 3. Maximum specific daily power consumption of samples of multi-apartment residential buildings for the observation period April 2021 – February 2023

максимальное удельное суточное электропотребление квартир МКД выборочной совокупности изменяется в диапазоне от 5,03 до 7,72 кВт·ч/квартира.

На рис. 5 приведены результаты статистической обработки измерений электропотребления квартир за день максимального электропотребления МКД в

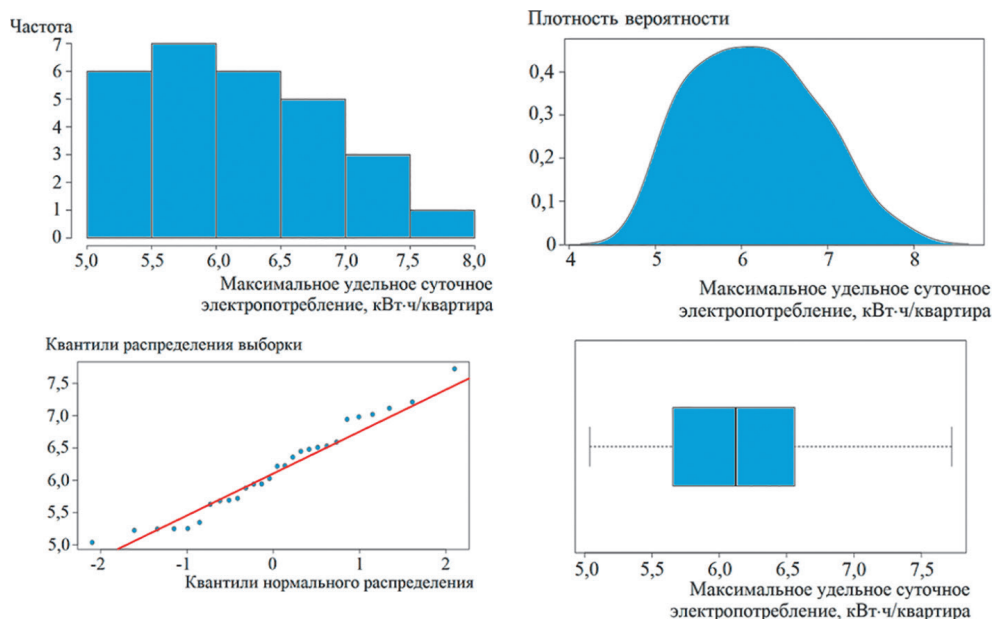
целом. Базовые статистические показатели сведены в табл. 1.

Данные рис. 5 позволяют выдвинуть гипотезу о нормальном распределении максимального удельного суточного электропотребления квартир МКД Москвы. Её проверка статистическими критериями приведена



**Рис. 4.** Максимальное удельное суточное электропотребление квартир 28 МКД Москвы за декабрь 2021 г.:  $n_s$  – среднее значение, кВт·ч/квартира;  $S_d$  – среднеквадратичное отклонение, кВт·ч/квартира

**Fig. 4.** Maximum specific daily power consumption apartments of 28 multi-apartment residential buildings in Moscow for December 2021:  $n_s$  – average value, kWh/apartment;  $S_d$  – standard deviation, kWh/apartment



**Рис. 5.** Статистическая обработка результатов измерений:  $a$  – гистограмма распределения максимального удельного суточного электропотребления квартир  $p_{0m}$ ;  $b$  – плотность распределения вероятностей, полученная методом «ядерного сглаживания»;  $c$  – нормально-вероятностный график  $p_{0m}$ ;  $d$  – ящичная диаграмма максимального  $p_{0m}$

**Fig. 5.** Statistical processing of measurement results:  $a$  – distribution histogram of the maximum specific daily power consumption of apartments  $p_{0m}$ ;  $b$  – probability distribution density obtained by the «nuclear smoothing» method;  $c$  – normal-probability plot  $p_{0m}$ ;  $d$  – box diagram of maximum  $p_{0m}$

Таблица 1

**Базовые статистические показатели максимального удельного суточного электропотребления квартир выборки МКД Москвы за декабрь 2021 г.**

**Basic statistical indicators of the maximum specific daily power consumption of apartments in a sample of multi-apartment residential buildings in Moscow for December 2021**

$n_b$ , шт.	$n_s$	$S_d$	$Me$	$n_{min}$	$n_{max}$	Д	$Q_{25\%}$	$Q_{75\%}$
	кВт·ч/квартира							
28	6,15	0,71	6,12	5,04	7,73	2,69	5,67	6,55

Обозначения в табл. 1:  $n_b$  – размер выборки (число домов);  $n_s$  – среднее значение;  $S_d$  – среднеквадратическое отклонение;  $Me$  – медиана;  $n_{min}$  – минимальное значение;  $n_{max}$  – максимальное значение; Д – диапазон изменения максимального удельного суточного электропотребления;  $Q_{25\%}$  – первый квартиль;  $Q_{75\%}$  – третий квартиль.



в табл. 2. Уровень значимости для проверки гипотезы принят равным 0,05 [20, 21].

Согласно проведенным расчетам выдвинутая гипотеза справедлива, что позволяет сделать вывод о том, что максимальное удельное суточное электропотребление квартир МКД Москвы по данным за декабрь 2021 г. подчиняется закону нормального распределения. В табл. 3 показаны итоги проверки выборки на наличие выбросов.

Проверка крайних значений максимального удельного суточного электропотребления квартир показала, что выбросов в данной выборке нет. Все данные выборки принимаются для дальнейших исследований. Для максимального удельного суточного электропотребления квартир выборочной совокупности МКД Москвы была получена оценка среднеквадратичного отклонения и дисперсии, на основании чего проведен расчет минимального объема репрезентативной выборки при ошибке определения среднего  $\pm 5\%$  и доверительной вероятности 95 % (табл. 4).

Как видно из табл. 4, объем исследуемой выборки (28 домов) превышает минимальный объем репрезентативной выборки (21 дом). Это позволяет сделать вывод о достаточности размера используемой выборочной совокупности МКД Москвы для проведения статистических расчетов и распространения полученных результатов на генеральную совокупность МКД Москвы. Для максимального удельного суточного электропотребления квартир МКД Москвы кластера 11–18 этажей было определено среднее значение и доверительный интервал, который с вероятностью 95 % покрывает среднее генеральной совокупности (табл. 5).

Аналогичные расчеты были выполнены для МКД Москвы для января и февраля 2022 г., а также для МКД Московской области за три зимних месяца. На рис. 6 приведены результаты измерений за декабрь 2021 г. Итоговые результаты расчетов сведены в табл. 6.

Максимальное отличие среднего удельного электропотребления составило 13,8 % за декабрь 2022 г. Для остальных пяти периодов измерений максимальное отличие было менее 5 %, что позволяет сделать

Таблица 2

**Результаты проверки гипотезы на нормальность распределения максимального удельного суточного электропотребления квартир МКД Москвы за декабрь 2021 г.**

**The results of testing the hypothesis for the normality of the distribution of the maximum specific daily power consumption of apartments in multi-apartment residential buildings in Moscow for December 2021**

Название теста	Значение <i>p-value</i>
Шапиро–Уилка	0,43 > 0,05
Лиллифорса	0,86 > 0,05
Омега-квадрат	0,65 > 0,05
Андерсона–Дарлинга	0,53 > 0,05
хи-квадрат Пирсона	0,47 > 0,05

Таблица 3

**Результаты проверки критерием Граббса максимального удельного суточного электропотребления квартир МКД Москвы за декабрь 2021 г.**

**The results of testing by the Grubbs criterion the maximum specific daily power consumption of apartments in multi-apartment residential buildings in Moscow for December 2021**

Крайние значения удельного суточного электропотребления квартир МКД, кВт·ч/квартира	<i>p-value</i>
5,04	1,0 > 0,05
7,73	0,29 > 0,05

Таблица 4

**Расчет минимального объема репрезентативной выборки максимального удельного суточного электропотребления квартир МКД Москвы**

**Calculation of the minimum volume of a representative sample of the maximum specific daily power consumption of apartments in multi-apartment residential buildings in Moscow**

Допустимая ошибка определения среднего, кВт·ч/квартира	Среднеквадратичное отклонение, кВт·ч/квартира	Объем выборки МКД, шт.	Минимальный объем репрезентативной выборки, шт.
0,31	0,71	27	21

Таблица 5

**Среднее выборочное удельное суточное электропотребление и доверительный интервал для среднего значения генеральной совокупности МКД Москвы кластера 11–18 этажей**

**Average sample specific daily power consumption and confidence interval for the average value of the general population of multi-apartment residential buildings in Moscow in a cluster of 11–18 floors**

Среднее выборочное значение, кВт·ч/квартира	Доверительный интервал $\Delta$ для среднего значения генеральной совокупности МКД, кВт·ч/квартира
6,15	5,88 $\div$ 6,43

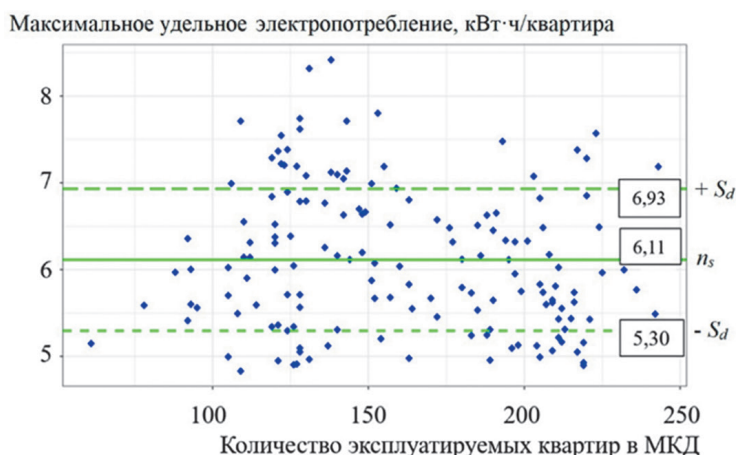


Рис. 6. Максимальное удельное суточное электропотребление квартир 152 МКД Московской области за декабрь 2021 г.

Fig. 6. Maximum specific daily power consumption of apartments in 152 multi-apartment residential buildings in the Moscow Region in December 2021

Таблица 6

**Максимальное среднесуточное удельное электропотребление и доверительные интервалы МКД Москвы и Московской области (кВт·ч/квартира)**

**Maximum average daily specific power consumption and confidence intervals of multi-apartment residential buildings in Moscow and the Moscow Region (kWh/apartment)**

Локация МКД	Декабрь 2021 г.	Декабрь 2022 г.	Январь 2022 г.	Январь 2023 г.	Февраль 2022 г.	Февраль 2023 г.
Москва	6,15	5,27	5,60	6,04	5,68	5,57
Δ	5,87 ÷ 6,42	4,70 ÷ 5,83	5,36 ÷ 5,85	5,66 ÷ 6,43	5,42 ÷ 5,94	5,31 ÷ 5,84
Московская область	6,11	6,00	5,67	5,75	5,51	5,49
Δ	5,98 ÷ 6,25	5,89 ÷ 6,10	5,57 ÷ 5,77	5,65 ÷ 5,86	5,41 ÷ 5,61	5,40 ÷ 5,58
δ, %	0,65	13,8	1,23	4,80	3,33	1,43

вывод о влиянии выбросов мощности на результаты измерений: для относительно малой выборки МКД Москвы исключались из расчета счетчики, по которым имели место выбросы мощности, тогда как для большой выборки МКД Московской области аналогичные выбросы мощности не приводили к исключению из выборки приборов учета. На основе табл. 6 можно сделать вывод: по уровню электропотребления кластера 11–18 этажей МКД Москвы и Московской области могут быть объединены в один общий кластер, т.е. нормативные значения удельных электрических нагрузок целесообразно относить к единой агломерации «Москва – Московская область».

Учитывая, что в целом в стандартных проектах квартиры имеют схожие характеристики, данный вывод может быть распространен и на другие кластеры МКД с электрическими плитами.

Проверим полученные результаты с помощью удельных электрических нагрузок МКД.

**Удельные электрические нагрузки МКД Москвы и Московской области.** Методика расчета удельных электрических нагрузок МКД Москвы изложена в [22]. Расчеты дополнены авторами измерениями по февраль 2023 г.

Аналогично расширены наблюдения электрических нагрузок МКД Московской области [23] и проведено сопоставление удельных электрических нагрузок МКД Москвы и Московской области за две зимы (табл. 7).

Табл. 7 показывает, что измерения за последние зимние месяцы выявили различие в значениях средних удельных нагрузок между МКД Москвы и Московской области: в январе 2023 г. – до 7,84 %. Максимальные электрические нагрузки, которые являются расчетными при проектировании систем электроснабжения, приходятся на 31 декабря. Для этого месяца отличия в значениях средней удельной нагрузки не превысили 3 % за два года. Таким образом, и по средним удельным электрическим нагрузкам можно объединить в один кластер МКД Москвы и Московской области.

Наибольшие удельные электрические нагрузки приходятся на 31 декабря. На рис. 8 приведен месячный график нагрузки одного из МКД Москвы. На рис. 8 видно, что нагрузка возрастает в выходные дни, а своего максимума достигает 31 декабря (рис. 9). Для сравнения приведены масштабированные к полученному в результате представленного исследования графику 1 два графика 2 и 3, заимствованные из [24] (использована непрерывная аппроксимация исходных ступенчатых

Средняя удельная нагрузка, кВт/квартира

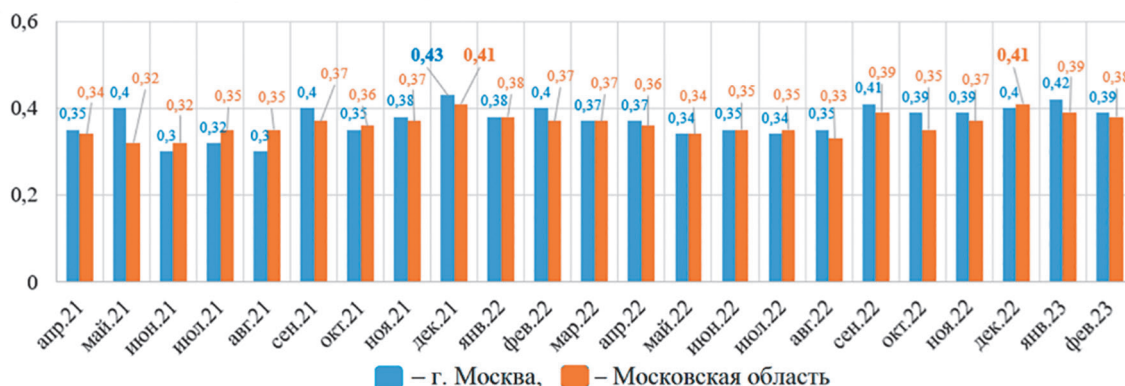


Рис. 7. Средняя удельная нагрузка МКД за период наблюдения апрель 2021 г. – февраль 2023 г.

Fig. 7. Average specific power of multi-apartment residential buildings for the observation period April 2021 – February 2023

Таблица 7

Средняя удельная нагрузка и доверительные интервалы МКД Москвы и Московской области (кВт·ч/квартира)

Average specific power and confidence intervals of multi-apartment residential buildings in Moscow and the Moscow region (kWh/apartment)

Локация МКД	Декабрь 2021 г.	Декабрь 2022 г.	Январь 2022 г.	Январь 2023 г.	Февраль 2022 г.	Февраль 2023 г.
Москва	0,425	0,411	0,382	0,421	0,396	0,394
Δ	0,404 ÷ 0,446	0,387÷0,434	0,366 ÷ 0,398	0,398÷0,444	0,379 ÷ 0,413	0,373÷0,415
Московская область	0,413	0,408	0,381	0,388	0,371	0,377
Δ	0,403 ÷ 0,423	0,398÷0,417	0,373 ÷ 0,389	0,379÷0,396	0,362 ÷ 0,379	5,395÷5,576
δ, %	2,91	0,73	0,26	7,84	6,73	4,31

Удельная нагрузка, кВт/квартира

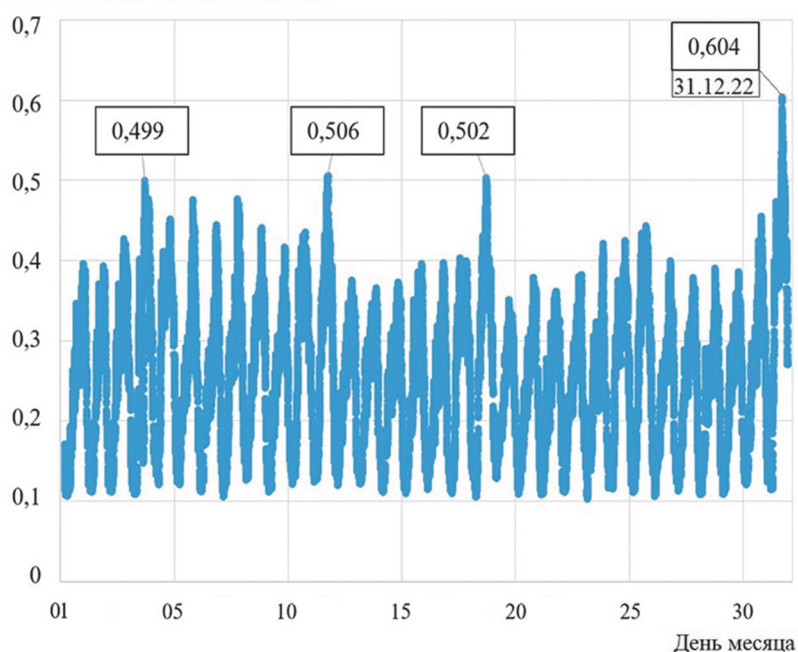
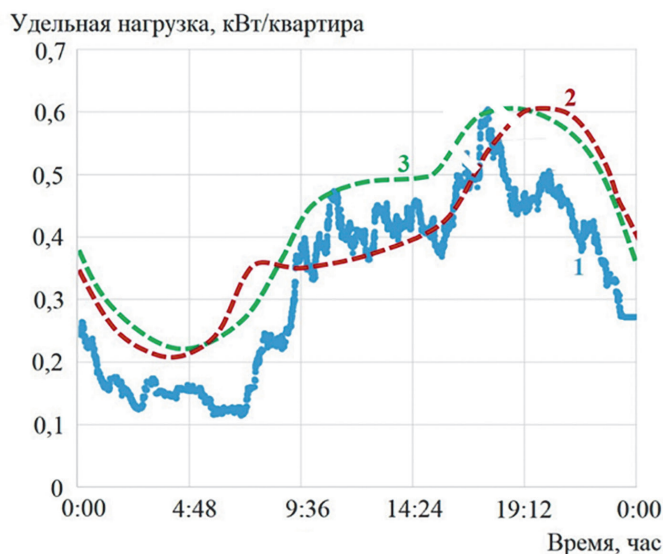


Рис. 8. График удельной нагрузки МКД за декабрь 2022 г.

Fig. 8. Specific power profile of multi-apartment residential buildings for December 2022



**Рис. 9.** Суточные графики удельной нагрузки МКД: 1 – график МКД, 31 декабря 2022 г.; 2 и 3 – воскресный и субботний графики МКД [24]  
**Fig. 9.** Daily profiles of specific power of multi-apartment residential buildings: 1 – profile of an apartment building, December 31, 2022; 2 and 3 – Sunday and Saturday profiles of an apartment building [24]

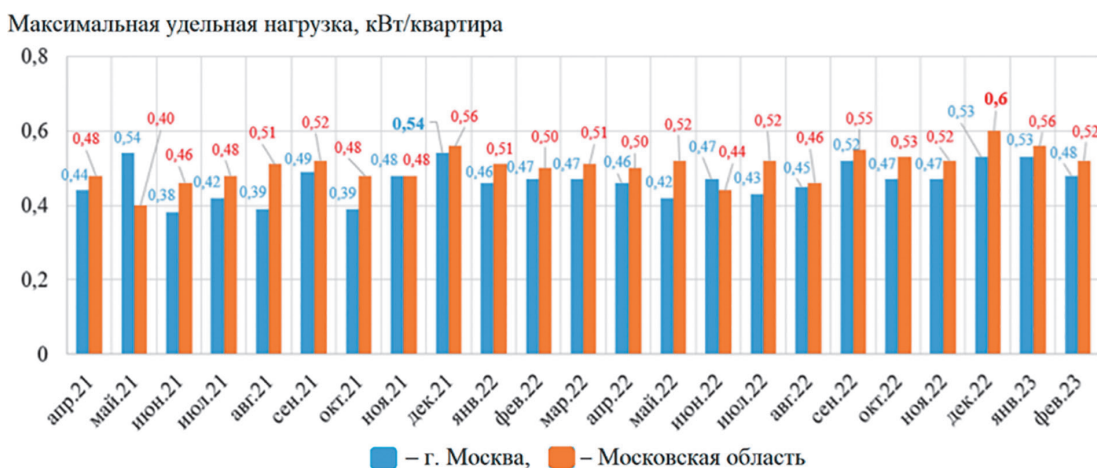
графиков). Наглядная разница между ними показывает проблематичность получения обобщенного типового суточного графика нагрузки.

По другим обследованным МКД Москвы и Московской области графики нагрузки аналогичны представленным, качественно сохраняя форму суточного графика и количественно достигая максимума в выходные дни.

Двухлетние измерения показали, что максимальная летняя электрическая нагрузка ниже максимальной зимней (рис. 10): для МКД Москвы на 22,2 % (2021 г.) и 11,3 % (2022 г.); для МКД Московской области на 8,92 % (2021 г.) и 13,3 % (2022 г.). Полученные результаты означают, что в рассматриваемой климатической зоне в МКД типовых проектов электрическая нагрузка от бытовых кондиционеров не смещает абсолютный мак-

симум нагрузки с зимнего периода на летний и актуализируемые нормативные значения удельной электрической нагрузки квартир следует связывать с зимними замерами.

**Корреляция между электрическими удельными нагрузками и электропотреблением МКД Москвы и Московской области.** Сбор информации по суточным графикам нагрузки квартир жилых домов сопряжен с необходимостью соответствующей перестройки приборов учета и дополнительной загрузкой информационных каналов дистанционной передачи данных. Опыт экспериментальных измерений в Москве показал, что доступны в основном только вводные распределительные устройства (ВРУ), при этом от них же питаются общедомовые и коммерческие потребители. В результате были выполнены измерения именно квартирной



**Рис. 10.** Максимальные удельные электрические нагрузки МКД за период наблюдения апрель 2021 г. – февраль 2023 г.

**Fig. 10.** Maximum specific electrical loads of multi-apartment residential buildings for the observation period April 2021 – February 2023



суточной нагрузки только для кластера 11–18 этажей, по остальным кластерам фиксировалась суммарная полусуточная нагрузка на ВРУ [22].

Данные о суточном электропотреблении получить проще, поэтому была сформулирована задача проверки наличия корреляции между электропотреблением и максимальной нагрузкой на различных временных интервалах. Выборки по электропотреблению формировались из значений суточного электропотребления каждого дома выборочной совокупности за каждый день интервала наблюдения. Выборки по нагрузкам формировались из значений максимальной нагрузки за каждые сутки интервала наблюдения для каждого дома выборки. Для выборочной совокупности МКД Москвы были сформированы 27 выборок по 30 значений электропотребления для интервала наблюдения с 1 по 30 сентября 2021 г. и 27 выборок по 31 значению электропотребления для интервала наблюдения с 1 по 31 октября 2021 г. Аналогичные выборки формировались для максимальной нагрузки МКД. Затем рассчитывался линейный коэффициент корреляции или коэффициент корреляции Пирсона [20, 21] выборок электропотребления и нагрузки для каждого месяца в отдельности. Получилось по 27 коэффициентов корреляции для каждого интервала наблюдения данных (по одному на каждый дом), разброс их значений существенный (рис. 11), и примененный подход не имеет практического значения. Аналогичный результат был получен по МКД Московской области, где в выборке участвовали 153 МКД кластера 11–18 этажей.

Далее проверялась зависимость между максимальной нагрузкой и суточным электропотреблением для группы домов выборочной совокупности. Выборки по электропотреблению формировались из значений суточного электропотребления каждого дома выборочной совокупности за соответствующие сутки интервала наблюдения, аналогично выборки по нагрузке формировались из значений максимальной каждого дома за данные сутки.

В результате получилось 27 пар значений «электропотребление – максимальная нагрузка» (для Московской области – 153 пары), по которым рассчитывался коэффициент корреляции за каждые сутки (рис. 12). Среднемесячный коэффициент корреляции составил 0,95 и 0,97 для МКД Москвы и 0,93; 0,94 для МКД Московской области в сентябре и октябре соответственно.

Как показывают диаграммы (рис. 12), для совокупностей МКД наблюдаются высокая и очень высокая корреляция между суточной максимальной нагрузкой и суточным электропотреблением. Это дает основание выдвинуть гипотезу об устойчивой аналитической зависимости между суточным электропотреблением группы МКД и их суммарной максимальной нагрузкой. На рис. 13 приведены диаграммы рассеяния, их линии регрессии (тренды) и соответствующие значения коэффициентов Пирсона. Как видно из диаграмм, имеет место очень высокая ( $>0,75$ ) положительная связь между переменными. На рис. 14 все линии трендов сведены вместе и построена обобщенная линия тренда (зеленый пунктир).

Приведенные на рис. 14 графики показывают, что для расчета максимальной нагрузки группы МКД могут использоваться данные по суточному электропотреблению, причем увеличение количества домов от 27 до 153 незначительно сказывается на тренде. Этот результат имеет важное следствие – расчет мощности технологического присоединения МКД на уровне микрорайона можно выполнять по значениям электропотребления аналогичной эксплуатируемой группы МКД.

**Обсуждение полученных результатов.** Исследования показали, что максимальные значения суточного электропотребления и суточной нагрузки МКД приходятся на 31 декабря и разброс удельных нагрузок МКД Москвы и Московской области (2021–2022 гг.) не более 3 %, что позволяет считать удельные электрические нагрузки идентичными. Это послужило основанием к внесению в ФАУ «ФЦС» предложения<sup>1</sup> о введении

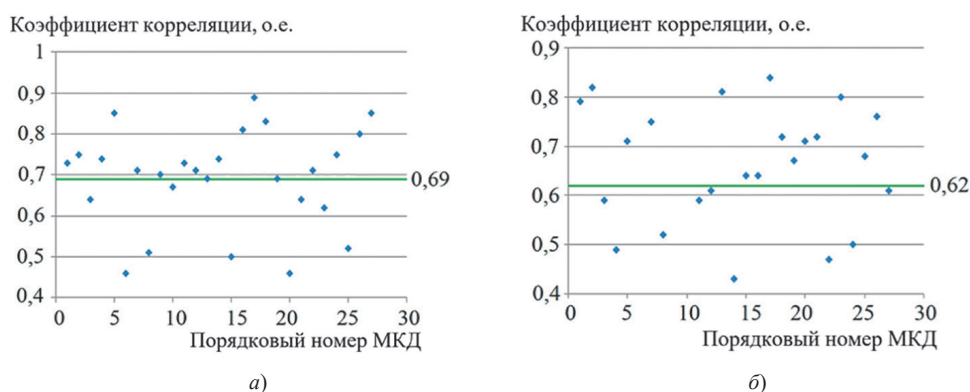
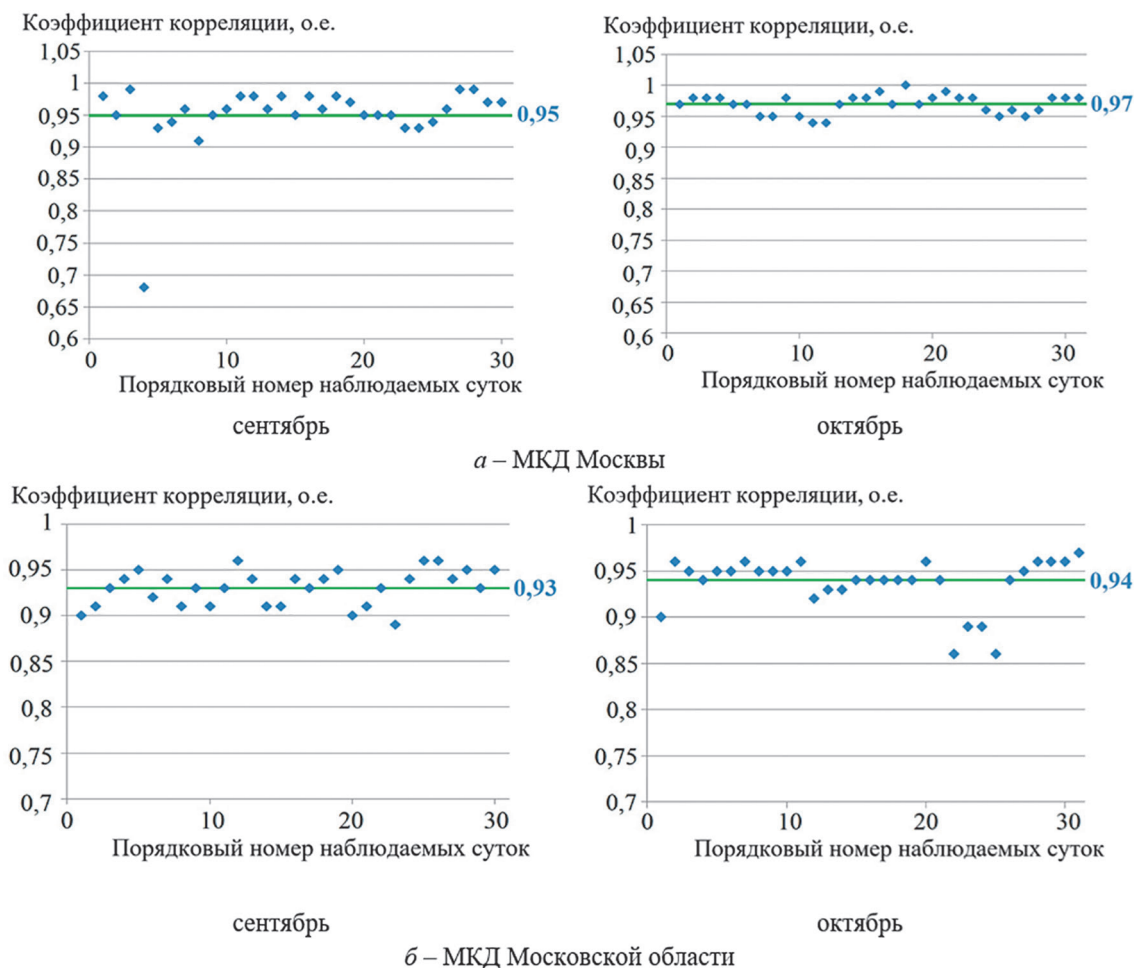


Рис. 11. Значения коэффициента корреляции по каждому МКД Москвы: а – сентябрь; б – октябрь

Fig. 11. Values of the correlation coefficient for each multi-apartment residential buildings in Moscow: а – September; б – October

<sup>1</sup>Отчет о научно-исследовательской работе: «Выполнение работ по мониторингу и анализу действующих нормативно-технических документов в области устройства электроустановок в жилых и общественных зданиях» (договор от 04.04.2022 г. № 32211180346 – 1/2022).



**Рис. 12.** Суточные коэффициенты корреляции выборок МКД  
**Fig. 12.** Daily correlation coefficients of samples of multi-apartment residential buildings

в документ [15] нового понятия «удельные электрические нагрузки МКД городской агломерации», куда должны войти Москва и Московская область. Для других территорий необходимо проведение самостоятельных исследований на предмет целесообразности их включения в новую группу с пониженными значениями удельных электрических нагрузок.

По двухлетним наблюдениям электрических нагрузок МКД Москвы и Московской области выявилась закономерность: средние значения удельных нагрузок стабильно выше для МКД Москвы (рис. 7), однако их максимальные значения стабильно выше уже для МКД Московской области (рис. 10). Поскольку использовались получасовые графики нагрузок, то последний фактор весомо влияет на выбор электропроводок и мощности трансформаторов. В связи с этим было предложено использовать значения удельной электрической нагрузки [18], принятые с некоторым запасом, но с поправкой на их увеличение при количестве квартир более 800. Перспективно дальнейшее снижение нормативных значений удельной электрической нагрузки, но необходимо проведение дальнейшего мони-

торинга электропотребления. Как видно из диаграммы (рис. 10), декабрьский максимум 2022 г. МКД Московской области выше аналогичного за декабрь 2021 г. на 7 %.

Суточные графики электрической нагрузки имеют выраженный вечерний максимум для обследованных МКД, но он смещен во времени. Сопоставление графиков (рис. 9), полученных в одном и том же городе, показывает их существенное отличие. Можно считать доказанной необходимость отдельного рассмотрения графиков электрической нагрузки для субботы и для воскресенья [24]. Для разработки типовых графиков необходима статистическая оценка на длительных интервалах наблюдения. Имеющиеся материалы двухлетнего мониторинга позволяют это сделать, но уже в рамках отдельной публикации.

Установленная корреляция между суточным максимальным электропотреблением группы МКД и их суммарной максимальной нагрузкой позволяет уже на этапе проектирования микрорайонов оценить реальные электрические нагрузки трансформаторных подстанций, что дает более точный результат, чем общепри-

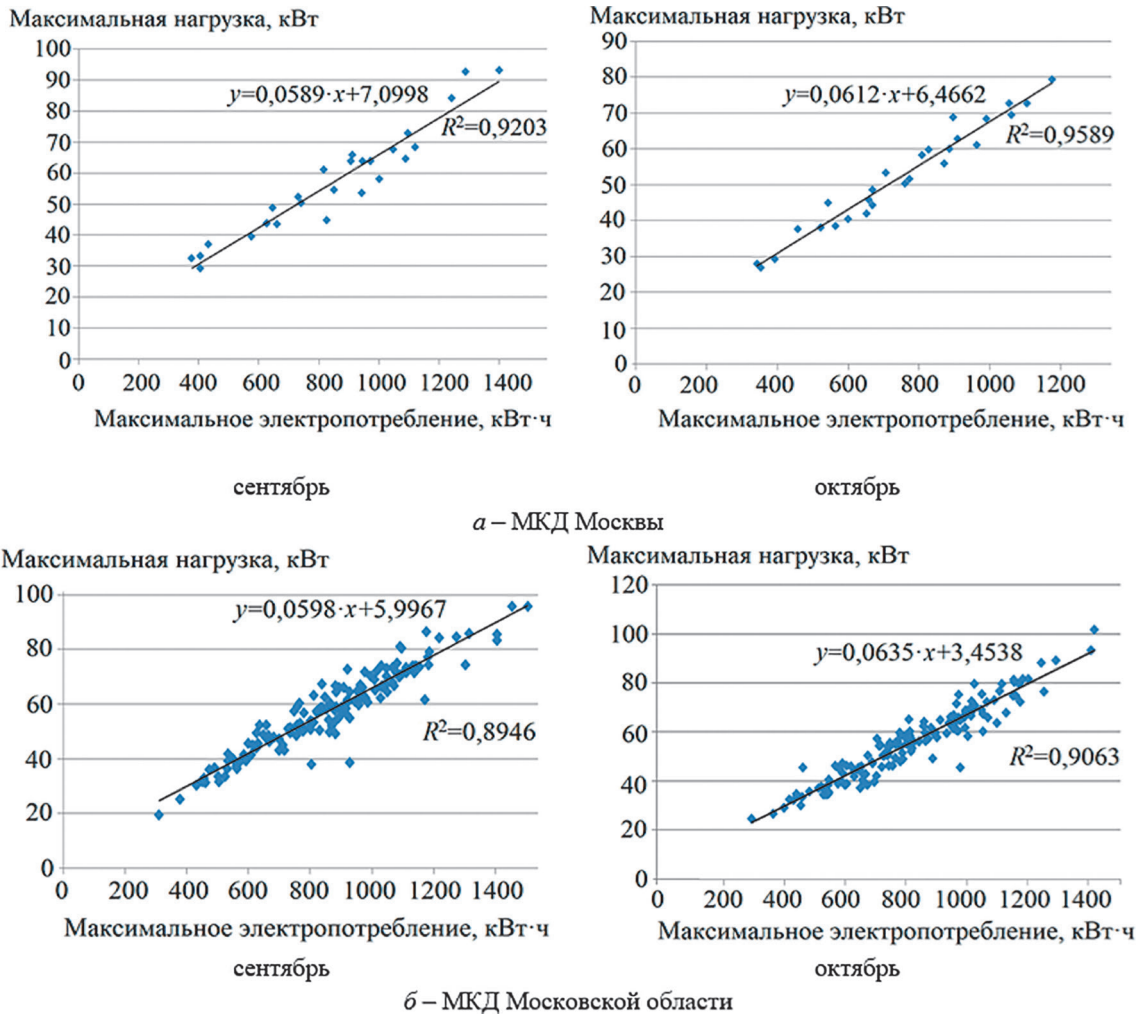


Рис. 13. Корреляционная зависимость между максимальным суточным электропотреблением и максимальной нагрузкой квартир

Fig. 13. Correlation dependence between the maximum daily power consumption and maximum load capacity of apartments in general for multi-apartment residential buildings

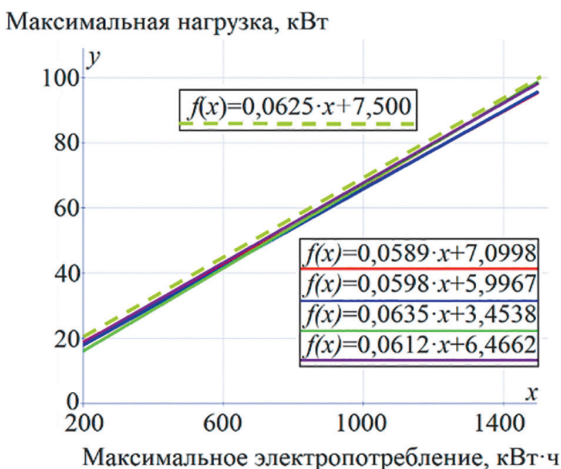


Рис. 14. Тренды корреляционных зависимостей для групп МКД Москвы и Московской области

Fig. 14. Trends of correlation dependencies for groups of multi-apartment residential buildings in Moscow and the Moscow region

нятый подход, основанный на суммировании нагрузки локальных объектов с использованием поправочных коэффициентов. Однако требуется принятие соответствующих законодательных решений на региональном или федеральном уровне, без которых невозможно использование соответствующих расчетов в проектной документации. Расширение географии подобных исследований актуально и может способствовать развитию энерго- и ресурсосбережению в системах городского электроснабжения.

Будущее возможное увеличение нагрузок в построенных жилых комплексах за счет развития зарядной инфраструктуры для электромобилей может привести к возникновению режимов, при которых загрузка силовых трансформаторов будет превышать допустимые значения. Решить данную проблему возможно за счет развития интеллектуальной электрической сети, обладающей топологической гибкостью и повышенными возможностями резервирования, в концепцию кото-

рой заложены элементы гексагональной структуры [25, 26]. В настоящее время, как показывают приведенные материалы, имеется резерв трансформаторной мощности, так как при их выборе использовались завышенные значения электрических нагрузок МКД.

**Выводы.** Нормативные значения удельных электрических нагрузок МКД основаны на устаревших предположениях об абсолютном росте количества бытовых электроприборов, сопровождающимся увеличением пикового электропотребления. Промышленная революция в области энергосбережения, которая не прогнозировалась на этапе разработки нормативов, не подтвердила необходимость заложенного запаса. В результате имеет место неэффективное использование силовых трансформаторов и кабельных сетей завышенной мощности. Последующие коррекции нормативных значений, внесенные в [15, 17, 18], частично исправили положение, но проблема дальнейшего сближения нормативов и фактических значений удельных электрических нагрузок остается актуальной.

Сделан шаг в направлении формирования самостоятельного кластера городов – мегаполисов, подразумевая, что на такой обширной территории, как Российская Федерация, не может быть эффективной методика использования одного норматива и для Крайнего Севера, и для южных регионов, для крупных городских образований, где на ограниченной площади проживают миллионы человек, и для областей, где плотность населения многократно ниже. Федеральный документ [15] позволяет вводить региональные значения удельных электрических нагрузок МКД, но на практике этим положением воспользовались только два региона.

Представляется, что изложенные материалы в своей методической части будут способствовать расширению кластера «городская агломерация» за счет включения в него других крупных городских образований уже на федеральном уровне после выполнения аналогичного мониторинга электрических нагрузок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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.
2. **Shvedov G.V. et al.** Analysis of the Maximum Electrical Load of Multi-Apartment Residential Buildings in the Power Supply Systems of Cities. – 4<sup>th</sup> International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, 2022, DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731476, EDN GYKBPZ.
3. **Надтока И.И., Павлов А.В.** Расчеты электрических нагрузок жилой части многоквартирных домов с электрическими плитами, основанные на средних нагрузках квартир. – Известия вузов. Электромеханика, 2014, №3, с. 36–39.
4. **Carroll P. et al.** Household Classification Using Smart Meter Data. – Journal of Official Statistics, 2018, vol. 34, No. 1, DOI: 10.1515/jos-2018-0001.
5. **Vyalkova S., Kornikova O., Nadтока I.** Development of Mathematical Models for the Short-Term Forecasting of Daily Consumption Schedules of Active Power by Moscow. – Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1901, DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012082.

6. **Павлов А.В.** Повышение точности расчетов электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2016, 286 с.
7. **Vyalkova S., Nadтока I.** Analysis of Hybrid Model Error of Short-Term Forecast of Energy Consumption in Moscow. – International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2021, pp. 802 – 806, DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446344.
8. **Khomichev V.A., Shvedov G.V.** Probabilistic-Statistical Analysis of the Maximum Electrical Load of Apartment. – 5<sup>th</sup> International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, 2022, DOI 10.1109/REEPE57272.2023.10086879.
9. **Антонов Н.В., Евдокимов М.Ю., Чичеров Е.А.** Проблемы в оценке региональной дифференциации потребления электроэнергии в бытовом секторе России. – Вестник Московского государственного университета. Серия: Естественные науки, 2019, № 4, с. 53–71.
10. **Морсин И.А., Шведов Г.В.** Анализ наименьшей электрической нагрузки многоквартирных жилых домов в системах электроснабжения городов. – Вестник МЭИ, 2022, № 6, с. 43–50.
11. **Proedrou A.** Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models. – IEEE Access, 2021, vol. 9, pp. 12114–12133, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050074.
12. **Солуянов Ю.И. и др.** Актуализация расчетных электрических нагрузок с последующим практическим применением на примере Республики Татарстан. – Промышленная энергетика, 2021, № 2, с. 32–40.
13. **Надтока И.И., Павлов А.В., Новиков С.И.** Проблемы расчета электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов. – Известия вузов. Электромеханика, 2013, № 1, с. 136–139.
14. **Figureiredo V. et al.** An Electric Energy Consumer Characterization Framework Based on Data Mining Techniques. – IEEE Transactions on Power Syst., 2005, vol. 20, iss. 2, pp. 596–602, DOI: 10.1109/TPWRS.2005.846234.
15. **СП 256.1325800.2016.** Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: Стандартинформ, 2017, 84 с.
16. **Солуянов Ю.И. и др.** Актуализация удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов в Республике Татарстан. – Электричество, 2021, № 6, с. 62–71.
17. **Постановление** Кабинета Министров Республики Татарстан от 09.09.2019 г. № 805 «О внесении изменений в постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 27.12.2013 № 1071. «Об утверждении республиканских нормативов градостроительного проектирования Республики Татарстан».
18. **Методика** расчета электрических нагрузок многоквартирных домов [Электрон. ресурс], URL: <https://mtsk.mos.ru/documents/32428> (дата обращения 22.04.2023).
19. **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 вузов. Проблемы энергетики, 2022, № 4, с. 142–153.
20. **James G. et al.** An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. 2<sup>nd</sup> ed. Cham. Springer, 2021, 612 p.
21. **Гореева Н.М., Демидова Л.Н.** Статистика. М.: Прометей, 2019, 496 с.
22. **Солуянов Ю.И. и др.** Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы. – Электрические станции, 2023, № 2, с. 22–28.
23. **Солуянов Ю.И. и др.** Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области. – Промышленная энергетика, 2022, № 4, с. 20–28.
24. **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.



25. Лоскутов А.Б. и др. Интеллектуальные распределительные сети 10–20 кВ с гексагональной конфигурацией. – Промышленная энергетика, 2013, № 12, с. 3–7.

26. 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.

Поступила в редакцию [22.04.2023]  
Принята к публикации [25.05.2023]

Авторы:



**Солуянов Юрий Иванович** – профессор, доктор техн. наук, президент Ассоциации «Росэлектромонтаж», Москва, Россия.



**Ахметшин Азат Ринатович** – кандидат техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение», Казанский государственный энергетический университет, Россия.



**Чернова Наталья Владимировна** – кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Ассоциации «Росэлектромонтаж», Москва, Россия.



**Федотов Александр Иванович** – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электрические станции им. В.К. Шибанова», Казанский государственный энергетический университет, Россия.



**Солуянов Владимир Иванович** – главный инженер второго казанского монтажного управления АО «Татэлектромонтаж», Казань, Россия; старший научный сотрудник Ассоциации «Росэлектромонтаж», Москва, Россия.

## Updating the Specific Electrical Loads of Apartment Buildings in Moscow and Moscow Region

**SOLUYANOV Yuriy I.** (Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia) – President, Dr. Sci. (Eng.).

**FEDOTOV Alexandr I.** (Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia) – Professor of the Power Plants n.a. V.K. Shibanov Dept., Dr. Sci. (Eng.), Professor.

**AHMETSHIN Azat R.** (Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia) – Docent of the Power Engineering Dept., Cand. Sci. (Eng.).

**CHERNOVA Natal'ya V.** (Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia) – Leading Researcher, Cand. Sci. (Eng.).

**SOLUYANOV Vladimir I.** (JSC "Tatelectromontazh", Kazan; Association «Roselectromontazh», Moscow, Russia) – Chief Engineer of the 2<sup>nd</sup> Kazan Installation Dept.; Senior Researcher.

The specific electrical loads of apartment buildings serve as the basis for selecting the electrical networks and electrical substations of power supply systems for urban microdistricts. At the same time, the experience gained from operation of the electrical equipment selected according to the design load shows a low load factor of substation transformers. The reason of such situation is that the standardized values of specific power consumption regulated by the Code of Practice SP 256.1325800.2016 [1] are not consistent with the actual load. Their adjustment at the regional level (within the framework of the Moscow Housing Renovation Program) made it possible to improve the situation, but this change is not fundamental in nature. During 2021–2022, specialists of the Roselectromontazh Association continuously monitored the electricity consumption

by apartment buildings in Moscow and Moscow region. Based on statistical processing of the obtained results, a proposal to combine them into a single agglomeration in standardizing specific electrical loads is substantiated. The power consumption by residential buildings of various storeys has been studied, and trends characterizing the dependence of electric load values on the number of apartments have been constructed. Proposals to amend the relevant federal regulations have been introduced.

**Key words:** specific electrical load, power consumption, apartment buildings, standard values, urban agglomeration

#### REFERENCES

1. **Nadtoka I.I., Pavlov A.V.** *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki – in Russ. (Proceedings of universities. North Caucasian region. Technical science)*, 2015, No.2, pp. 45–48.
2. **Shvedov G.V. et al.** Analysis of the Maximum Electrical Load of Multi-Apartment Residential Buildings in the Power Supply Systems of Cities. – 4<sup>th</sup> International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, 2022, DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731476, EDN GYKEPZ.
3. **Nadtoka I.I., Pavlov A.V.** *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika – in Russ. (Russian Electromechanics)*, 2014, No.3, pp. 36–39.
4. **Carroll P. et al.** Household Classification Using Smart Meter Data. – Journal of Official Statistics, 2018, vol. 34, No. 1, DOI: 10.1515/jos-2018-0001.
5. **Vyalkova S., Kornikova O., Nadtoka I.** Development of Mathematical Models for the Short-Term Forecasting of Daily Consumption Schedules of Active Power by Moscow. – Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 1901, DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012082.
6. **Pavlov A.V.** *Povyshenie tochnosti raschyotov elektricheskikh nagruzok kommunal'no-bytovykh potrebiteley mikrorayonov megapolisov: dis. ... kand. tekhn. nauk (Improving the Calculations Accuracy of Electrical Loads of Megacities Microdistricts Municipal Consumers: Dis. ... Cand. Sci. (Eng.)).* Novocherkassk, 2016, 286 p.
7. **Vyalkova S., Nadtoka I.** Analysis of Hybrid Model Error of Short-Term Forecast of Energy Consumption in Moscow. – International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, 2021, pp. 802 – 806, DOI: 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446344.
8. **Khomichev V.A., Shvedov G.V.** Probabilistic-Statistical Analysis of the Maximum Electrical Load of Apartment. – 5<sup>th</sup> International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, 2022, DOI 10.1109/REEPE57272.2023.10086879.
9. **Antonov N.V., Evdokimov M.Yu., Chicherov E.A.** *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki – in Russ. (Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences)*, 2019, No. 4, pp. 53–71.
10. **Morsin I.A., Shvedov G.V.** *Vestnik MEI – in Russ. (Bulletin of MPEI)*, 2022, No. 6, pp. 43–50.
11. **Proedrou A.** Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models. – IEEE Access, 2021, vol. 9, pp. 12114–12133, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050074.
12. **Soluyanov Yu.I. et al.** *Promyshlennaya energetika – in Russ. (Industrial Power Engineering)*, 2021, No. 2, pp. 32–40.
13. **Nadtoka I.I., Pavlov A.V., Novikov S.I.** *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika – in Russ. (News of Universities. Electromechanics)*, 2013, No. 1, pp. 136–139.
14. **Figueiredo V. et al.** An Electric Energy Consumer Characterization Framework Based on Data Mining Techniques. – IEEE Transactions on Power Syst., 2005, vol. 20, iss. 2, pp. 596–602, DOI: 10.1109/TPWRS.2005.846234.
15. **SP 256.1325800.2016.** *Elektrostanovki zhilykh i obshchestvennykh zdaniy. Pravila proektirovaniya i montazha (Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules)*. M.: Standartinform, 2017, 84 p.
16. **Soluyanov Yu.I. et al.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2021, No. 6, pp. 62–71.
17. **Postanovlenie** Kabinet Ministrov Respubliki Tatarstan № 805 ot 09.09.2019 g. «O vnesenii izmenenii v postanovlenie Kabinet Ministrov Respubliki Tatarstan ot 27.12.2013 № 1071. «Ob utverzhdenii respublikanskikh normativov gradostroitel'nogo proektirovaniya Respubliki Tatarstan» (On amendments to the Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated December 27, 2013 No. 1071. «On the approval of republican standards for urban planning of the Republic of Tatarstan»).
18. **Metodika** rascheta elektricheskikh nagruzok mnogokvartirnykh domov (The Method of Calculating the Electrical Loads of Apartment Buildings) [Electron. resource], URL: <https://mtsk.mos.ru/documents/32428> (Date of appeal 22.04.2023).
19. **Soluyanov YU.I., Fedotov A.I., Ahmetshin A.R.** *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki – in Russ. (News of Universities. Power Engineering Problems)*, 2022, No. 4, pp. 142–153.
20. **James G. et al.** *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. 2<sup>nd</sup> ed. Cham. Springer. 2021, 612 p.
21. **Goreeva N.M., Demidova L.N.** *Statistika (Statistics)*. M.: Prometey, 2019, 496 p.
22. **Soluyanov Yu.I. et al.** *Elektricheskije stantsii – in Russ. (Power Plants)*, 2023, No. 2, pp. 22–28.
23. **Soluyanov Yu.I. et al.** *Promyshlennaya energetika – in Russ. (Industrial Power Engineering)*, 2022, No. 4, pp. 20–28.
24. **Solov'eva A.S., Shvedov G.V.** *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika – in Russ. (Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering)*, 2023, vol. 23, No. 1, pp. 27–37.
25. **Loskutov A.B. et al.** *Promyshlennaya energetika – in Russ. (Industrial Power Engineering)*, 2013, No. 12, pp. 3–7.
26. **Loskutov A.B., Loskutov A.A., Zyryn D.V.** *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva – in Russ. (Proceedings of NNSTU a.n. R.E. Alekseev)*, 2016, No. 3 (114), pp. 85–94.

Received [22.04.2023]  
Accepted [25.05.2023]