

УДК 621.311.1

Расчет удельных электрических нагрузок жилых зданий на основании фактических замеров

А. Р. Ахметшин*, Ю. И. Солуянов, А. И. Федотов, Н. В. Чернова, В. И. Солуянов

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия;
e-mail: ahmetshin.ar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>

Информация о статье

Поступила в редакцию 05.10.2022;

получена после доработки 28.11.2022

Ключевые слова:

расчетная электрическая нагрузка, фактическая потребляемая нагрузка, "запертая мощность", энергоэффективность, технологическое присоединение, удельное электропотребление

Реферат

Актуализация разработки удельных электрических нагрузок жилых зданий кластеров 1 (до 5 этажей) и 2 (6–11 этажей) на основании фактических замеров (с внесением изменений в Свод правил 256.1325800.2016 "Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа") способствует снижению стоимости технологического подключения в жилищном строительстве, а также уменьшению фактической неиспользуемой "запертой мощности" одновременно со снижением потерь электроэнергии в силовых трансформаторах. В ходе исследования проведен анализ фактических электрических нагрузок жилых домов г. Москвы за периоды с 1 по 30 ноября 2021 г. и с 25 декабря 2021 г. по 31 января 2022 г. Размер исследуемой выборки для кластера 1 составил 91 дом, для кластера 2 – 58 домов. При определении максимальной удельной мощности выборочной совокупности многоквартирных жилых домов г. Москвы кластеров 1 и 2 установлены среднее значение и доверительный интервал, который с вероятностью в 95 % "накрывает" среднее генеральной совокупности; выполнен сравнительный анализ фактических удельных электрических нагрузок жилого дома с нагрузками, приведенными в Своде правил. По результатам статистической обработки выборочной совокупности многоквартирных домов кластеров 1 и 2 была определена зависимость максимальной удельной мощности от количества квартир в жилом доме с линией тренда, наглядно иллюстрирующей тенденции изменения изучаемой зависимости.

Для цитирования

Ахметшин А. Р. и др. Расчет удельных электрических нагрузок жилых зданий на основании фактических замеров. Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 4. С. 313–323. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323>.

Calculation of specific electrical loads of residential buildings based on actual measurements

Azat R. Akhmetshin*, Yuri I. Soluyanov, Alexander I. Fedotov, Natalia V. Chernova, Vladimir I. Soluyanov

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia;
e-mail: ahmetshin.ar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>

Article info

Received 05.10.2022;

received in revised form 28.11.2022

Key words:

estimated electrical load, actual consumed load, "locked power", energy efficiency, technological connection, specific power consumption

Abstract

Updating the development of specific electrical loads of residential buildings of clusters 1 (up to 5 floors) and 2 (6–11 floors) based on actual measurements (with amendments to the Code of Rules 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules") contributes reducing the cost of technological connection in residential construction, as well as reducing the actual unused "locked power" at the same time as reducing electricity losses in power transformers. In the course of the study, an analysis has been made of the actual electrical loads of residential buildings in Moscow for the periods from November 1 to November 30, 2021 and from December 25, 2021 to January 31, 2022. The number of the studied sample for cluster 1 is 91 houses, for cluster 2 – 58 houses. When determining the maximum specific power of a sample set of multi-apartment residential buildings in Moscow in clusters 1 and 2, an average value and a confidence interval have been established, which "covers" the average of the general population with a probability of 95 %; a comparative analysis of the actual specific electrical loads of a residential building with the loads given in the Code of Rules has been carried out. Based on the results of statistical processing of a sample of multi-apartment buildings in clusters 1 and 2, the dependence of the maximum specific power on the number of apartments in a residential building has been determined with a trend line that clearly illustrates the trend in the studied dependence.

For citation

Akhmetshin, A. R. et al. 2022. Calculation of specific electrical loads of residential buildings based on actual measurements. *Vestnik of MSTU*, 25(4), pp. 313–323. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323>.

Введение

Ассоциация "Росэлектромонтаж" (Ассоциация) совместно с Казанским государственным энергетическим университетом (КГЭУ) ведет экспертную деятельность в области проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации электроустановок зданий, а также осуществляет разработку, утверждение и распространение отраслевых нормативно-технических документов.

Расчет электрической нагрузки является основополагающим в проектировании систем электроснабжения.

Одним из главных направлений деятельности Ассоциации является научно-исследовательская работа (НИР) по разработке удельных расчетных электрических нагрузок (УРЭН) для регионов Российской Федерации (*Solyanov et al., 2019; Солюянов и др., 2020; Солюянов и др., 2021; Солюянов и др., 2022*).

Необходимость актуализации разработки УРЭН неоднократно освещалась в отечественных и зарубежных изданиях (*Солюянов и др., 2021; Солюянов и др., 2022; Надтока и др., 2015; Albert et al., 2013; Carroll et al., 2018; Sembranel et al., 2019*). Применение энергоэффективных электроприборов (*Грачева и др., 2017*) и цифровая трансформация электросетевого комплекса (*Жилкина, 2020б*) способствуют выполнению работ по определению электрических нагрузок жилых домов с целью снижения стоимости строительства и эксплуатации электрических сетей за счет уменьшения разрыва между реальными и расчетными нагрузками.

Массовое внедрение интеллектуальных счетчиков электроэнергии (ИСЭ) (*Жилкина, 2020а*) позволяет производить мониторинг фактических значений электропотребления и электрических нагрузок жилых и общественных зданий (*Mai et al., 2014; Ledva et al., 2020*).

С помощью данных, полученных от ИСЭ, выполняется расчет по прогнозированию электрических нагрузок (*Алексеева и др., 2010; Гофман и др., 2012*), контролируется качество электроэнергии и состояние электрооборудования (*Лоскутов и др., 2013; Гольдштейн и др., 2014; Степанов и др., 2015; Лоскутов и др., 2016*), а также минимизируются технологические и коммерческие потери электроэнергии (*Latifi et al., 2018; Yao et al., 2019; Грачева и др., 2016*).

Научно-исследовательская деятельность Ассоциации по разработке удельных расчетных электрических нагрузок способствует снижению стоимости подключения к электрическим сетям в жилищном строительстве, повышению эффективности загрузки силовых трансформаторов (СТ) для решения проблемы "запертой мощности" (*Солюянов и др., 2021; Солюянов и др., 2022; Надтока и др., 2015*).

Цель настоящего исследования заключается в актуализации удельных электрических нагрузок жилых зданий кластеров 1 (до 5 этажей) и 2 (6–11 этажей) на основании фактических замеров с внесением изменений в Свод правил (СП) 256.1325800.2016 "Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа"¹.

Материалы и методы

Расчеты УРЭН многоквартирного жилого дома (МКД) для кластеров 1 (до 5 этажей) и 2 (6–11 этажей) проводились на основе выборочной совокупности МКД г. Москвы (рис. 1).

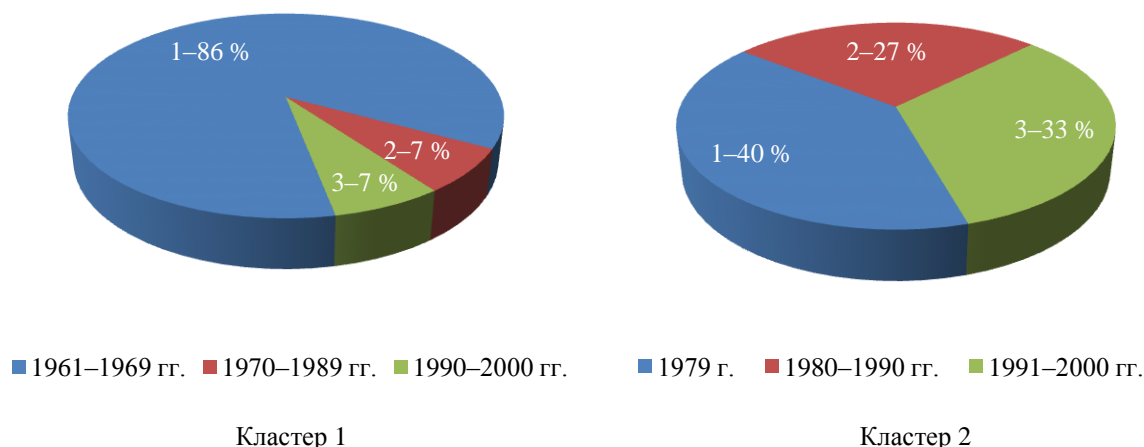


Рис. 1. Выборочные совокупности МКД в зависимости от года ввода в эксплуатацию
 Fig. 1. Sample sets of apartment buildings depending on the year of commissioning

Исходя из данных, указанных на рис. 1, можно сделать вывод о том, что выборочные совокупности МКД состоят из заселенных домов, находящихся в эксплуатации более 20 лет.

¹Свод правил 256.1325800.2016 "Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа" (Приказ Минстроя России от 29 августа 2016 г. № 602/пр). URL : <https://minstroyrf.gov.ru/docs/12544/>.

Наблюдение получасовых профилей нагрузки pilotной выборки МКД осуществлялось в периоды с 1 по 30 ноября 2021 г. и с 25 декабря 2021 г. по 31 января 2022 г.

Гистограмма распределения, плотность распределения вероятностей, полученная методом "ядерного сглаживания" (Гореева и др., 2019; James et al., 2021), нормально-вероятностный график, а также ящичная диаграмма максимальной удельной мощности квартир МКД исследуемой выборки за день максимального электропотребления приведены на рис. 2–5.

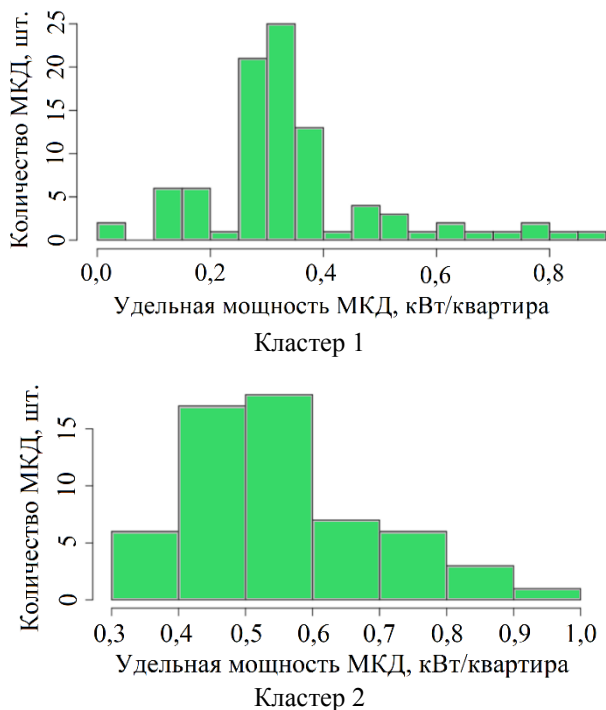


Рис. 2. Гистограмма распределения максимальной удельной мощности квартир выборки МКД
Fig. 2. Distribution histogram of the maximum specific power of apartments in a sample of apartment buildings

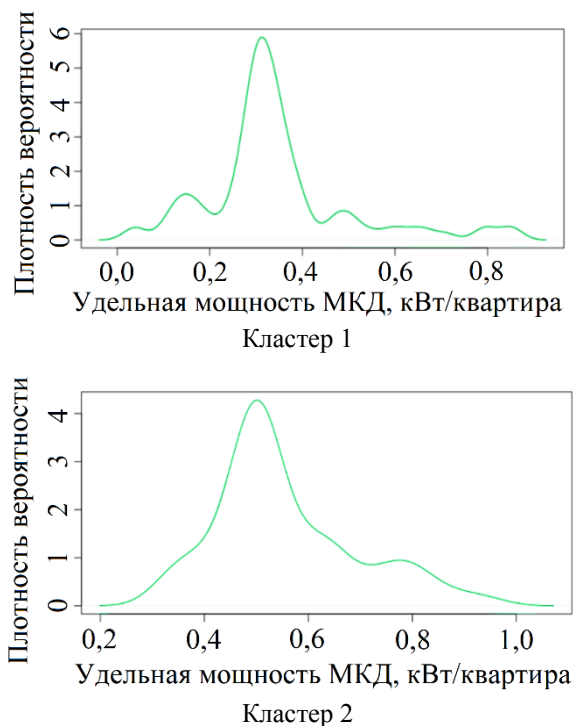


Рис. 3. Плотность распределения вероятностей, полученная методом "ядерного сглаживания"
Fig. 3. Probability distribution density obtained by the "nuclear smoothing" method

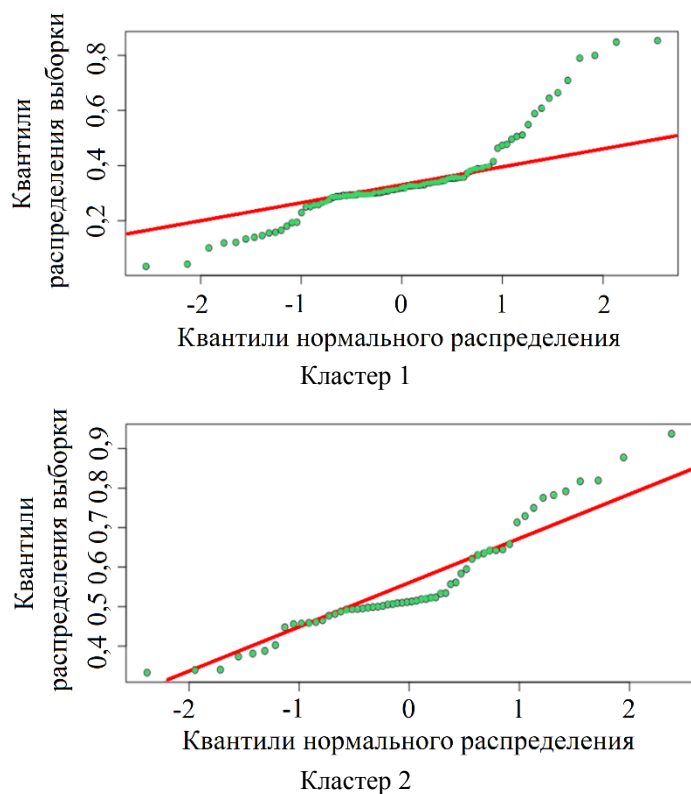


Рис. 4. Нормально-вероятностный график максимальной удельной мощности квартир выборки МКД
 Fig. 4. Normal-probabilistic graph of the maximum specific power of apartments
 in a sample of apartment buildings

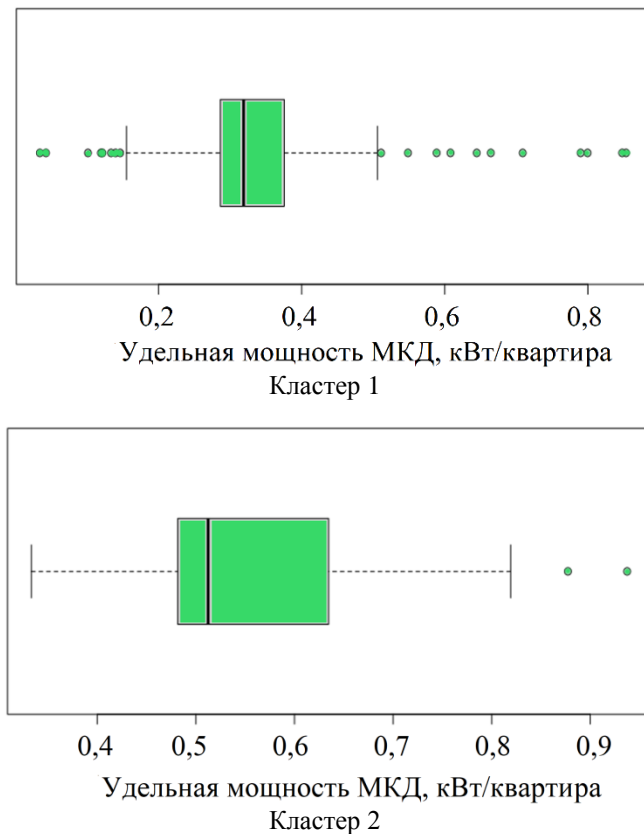


Рис. 5. Ящичная диаграмма максимальной удельной мощности квартир выборки МКД
 Fig. 5. Boxplot of the maximum specific power of apartments in a sample of apartment buildings

Проверка гипотезы о нормальном распределении (Гореева и др., 2019; James et al., 2021) максимальной удельной мощности квартир выборочной совокупности МКД г. Москвы (рис. 2–5) подтвердила, что данные выборки распределены в соответствии с законом нормального распределения.

Базовые статистические показатели исследуемой выборки за период наблюдения приведены в табл. 1, где использованы следующие обозначения: n_b – размер выборки (число домов); n_{cp} – среднее значение, кВт/кв; S_d – среднееквадратическое отклонение, кВт/кв; M_e – медиана, кВт/кв; n_{min} – минимальное значение, кВт/кв; n_{max} – максимальное значение, кВт/кв; $Q_{25\%}$ – первый квартиль, кВт/кв; $Q_{75\%}$ – третий квартиль, кВт/кв; D – разница между n_{max} и n_{min} , кВт/кв.

Таблица 1. Базовые статистические показатели выборки максимальной удельной мощности квартир МКД
Table 1. Basic statistical indicators of a sample of the maximum specific power of apartments in apartment buildings

n_b , шт.	n_{cp}	S_d	M_e	n_{min}	n_{max}	D	$Q_{25\%}$	$Q_{75\%}$
	кВт/кв							
Кластер 1								
91,0	0,35	0,16	0,32	0,03	0,85	0,82	0,29	0,38
Кластер 2								
58,0	0,56	0,14	0,51	0,33	0,93	0,60	0,48	0,63

Для максимальной удельной мощности квартир выборочной совокупности МКД г. Москвы была получена оценка среднееквадратического отклонения и дисперсии. На основании этих данных за ноябрь 2021 г. был проведен расчет минимального объема репрезентативной выборки при допустимой ошибке определения среднего значения ± 5 и доверительной вероятности 95 % (табл. 2).

Таблица 2. Расчет минимального объема репрезентативной выборки максимальной удельной мощности квартир МКД
Table 2. Calculation of the minimum volume of a representative sample of the maximum specific power of apartments in apartment buildings

Допустимая ошибка определения среднего, $\pm\%$	Допустимая ошибка определения среднего, \pm кВт/кв	Среднееквадратическое отклонение, кВт/кв	Объем выборки МКД, шт.	Минимальный объем репрезентативной выборки, шт.
Кластер 1				
5,0	0,03	0,13	91,0	57,0
Кластер 2				
5,0	0,03	0,10	58,0	44,0

Как видно из табл. 2, имеющегося объема исследуемой выборки (с 25 декабря 2021 г. по 31 января 2022 г.) достаточно для распространения полученных результатов на генеральную совокупность МКД г. Москвы.

Для максимальной удельной мощности выборочной совокупности МКД г. Москвы кластеров 1 и 2 определено среднее значение и доверительный интервал, который с вероятностью в 95 % "накрывает" среднее генеральной совокупности. Результаты, в пределах которых с доверительной вероятностью в 95 % находится истинное среднее значение удельной мощности генеральной совокупности МКД г. Москвы, для кластера 1 имеют границы 0,312–0,378 кВт/квартира, для кластера 2 – 0,519–0,591 кВт/квартира. Оценка средней удельной мощности генеральной совокупности для кластера 1 составляет 0,345 кВт/квартира, для кластера 2 – 0,555 кВт/квартира.

Результаты и обсуждение

По результатам статистической обработки для выборочной совокупности МКД для кластеров 1 и 2 была определена зависимость максимальной удельной мощности квартиры от количества квартир в МКД. На рис. 6 приведена эта зависимость, рассчитанная по данным за периоды наблюдения (с 1 по 30 ноября 2021 г. и с 25 декабря 2021 г. по 31 января 2022 г.), линия тренда для наглядной иллюстрации тенденции изменения изучаемой зависимости, а также нанесены значения электрических нагрузок квартир МКД г. Москвы, приведенные в СП.

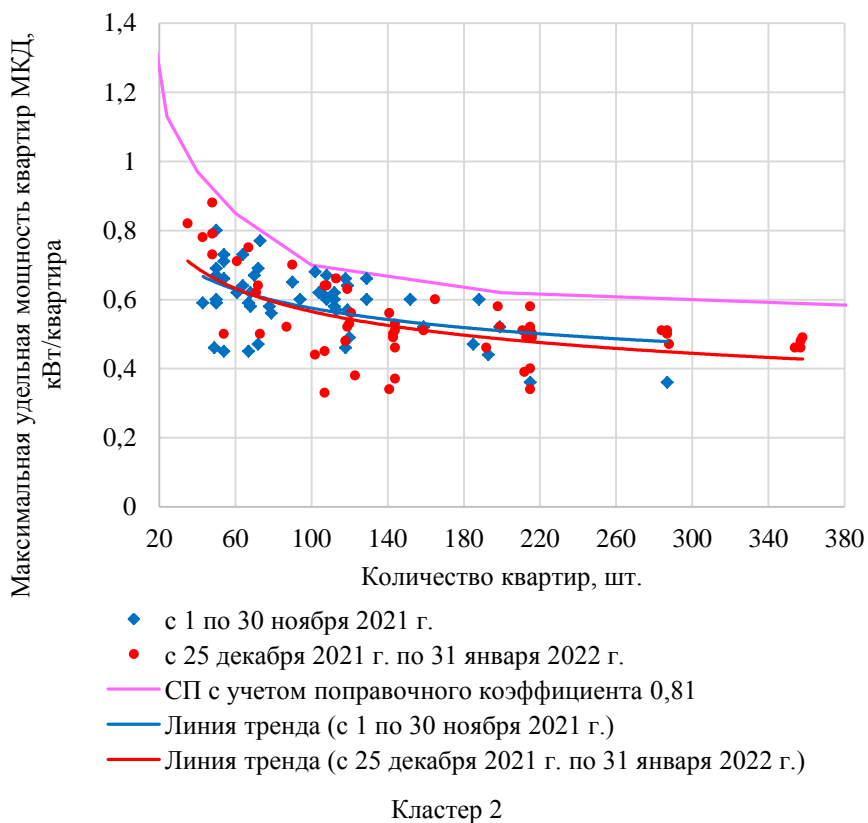
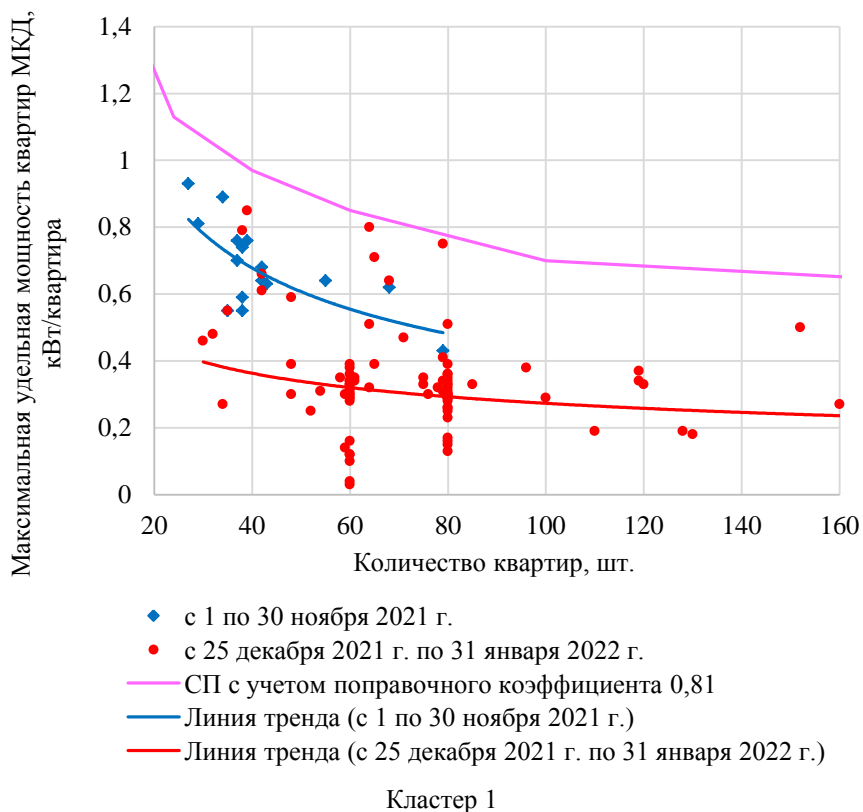


Рис. 6. Зависимость максимальной удельной мощности квартиры от количества квартир в МКД по данным за период наблюдения

Fig. 6. Dependence of the maximum capacity of an apartment on their number in a group for multi-apartment residential buildings according to data for the data observation period

Как видно из рис. 6, удельная максимальная мощность квартир в МКД уменьшается с увеличением их количества. Значения электрических нагрузок квартир МКД г. Москвы кластеров 1 и 2, рассчитанные для периодов наблюдения с 1 по 30 ноября 2021 г. и с 25 декабря 2021 г. по 31 января 2022 г., ниже нормативных значений СП. Приведенные удельные значения электрической нагрузки (рис. 6) включают общедомовые нужды (ОДН) и коммерческую нагрузку, а указанные значения в СП (табл. 7.1) – нагрузку освещения общедомовых помещений, нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования, поэтому можно сделать вывод о возможности снижения нормативных значений для кластеров 1 и 2.

Исходя из вышеизложенного, предлагается ввести в Свод правил 256.1325800.2016 отдельную таблицу, содержащую нормативные значения удельной расчетной электрической нагрузки электроприемников квартир жилых зданий г. Москвы (эти значения указаны в табл. 3).

Таблица 3. Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий г. Москвы, кВт/квартира
Table 3. Specific calculated electrical load of electrical receivers of apartments in residential buildings in Moscow, kW/apartment

Потребители электроэнергии	Удельная расчетная электрическая нагрузка с учетом количества квартир													
	1–5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1 000
Квартиры с плитами на природном газе	4,5	2,27	1,86	1,62	1,46	1,34	1,13	0,97	0,85	0,7	0,62	0,58	0,56	0,54

Примечание. Данную таблицу необходимо ввести в СП под номером 7.1, а с целью пересмотра удельных электрических значений нагрузки электроприемников квартир жилых зданий г. Москвы.

Следует отметить, что пересмотр УРЭН необходим для каждого региона Российской Федерации (особенно для северных регионов страны). Так, по данным ПАО "Россети Северо-Запад"² средняя загрузка центров питания (ЦП) составляет 45 % (построено и реконструировано 42 ЦП с установленной мощностью 1 377 МВА, а потребляется всего 337 МВА по состоянию на 2017 г.). На рис. 7 представлены объемы потребления заявленной мощности (по данным ПАО "Россети Северо-Запад").



Рис. 7. Использование потребителями заявленной мощности (по данным ПАО "Россети Северо-Запад")
Fig. 7. Use of declared capacity by consumers (according to PJSC "Rosseti North-West")

² ПАО "Россети Северо-Запад" (ранее ПАО "МРСК Северо-Запада") – крупнейшая сетевая организация на Северо-Западе России, дочернее общество ПАО "Россети". Осуществляет передачу и распределение электроэнергии на территориях республик Карелия, Коми, Архангельской, Вологодской, Мурманской, Новгородской, Псковской областей.

Как видно из рис. 7, низкие объемы потребления заявленной мощности характерны для ПС "Кашкаранцы" (Мурманская область) – 2 %, "Логмозеро" и "Жарниково" (Республика Карелия) – 4–10 %, "ВЦЗ", "Юнь-Яга", "Вуктыл-2", "КС-10" (Республика Коми) – до 11 %.

В частности, выполнен анализ загрузки силовых трансформаторов, расположенных в Мурманской области, по данным АО "МОЭСК"³ за 1 квартал 2022 г. (рис. 8).

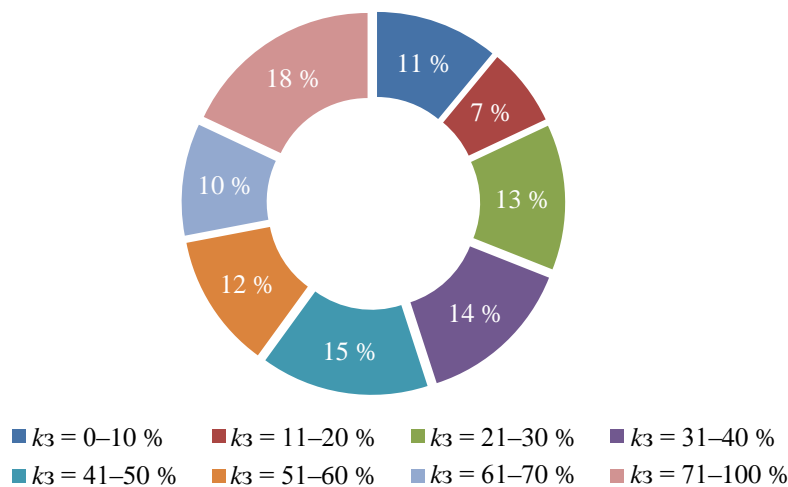


Рис. 8. Коэффициент загрузки СТ (по данным АО "МОЭСК")

Fig. 8. Power transformer load factor according to JSC "MOESK"

Из рис. 8 видно, что нагрузка 60 % СТ составляет менее 50 %, что свидетельствует о необходимости проведения НИР с целью актуализации нормативных документов для расчета заявленной мощности в северных регионах страны.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) применение ИСЭ позволяет сформировать широкую базу данных по уровню электрических нагрузок МКД кластеров 1 и 2 г. Москвы, необходимых для дальнейших исследований по развитию нормативной базы;

2) результаты натурных измерений электрических нагрузок МКД кластеров 1 и 2 г. Москвы демонстрируют меньшие значения удельных электрических нагрузок по сравнению с их нормативными значениями, приведенными в СП, что доказывает целесообразность дальнейшего совершенствования нормативных документов;

3) актуализация разработки УРЭН в СП будет способствовать сокращению стоимости строительства и эксплуатации электрических сетей, а также уменьшению "запертой мощности" в жилищном строительстве, что в долгосрочной перспективе приведет к экономическому эффекту за счет снижения потерь электроэнергии в СТ и уменьшения стоимости инвестиционных программ;

4) анализ загрузки СТ показал важность НИР по актуализации разработки УРЭН для северных регионов страны. Предпосылкой для разработки региональных нормативов являются различия в структуре потребления электрической энергии, составе жилого фонда, душевом расходе электроэнергии в быту, а также климатические особенности разных регионов страны.

Благодарности

Авторы выражают благодарность строительной компании ГК "Самолет" за поддержку исследований и компании "Энергоучет" (филиал ПАО "Россети". Московский регион) за информационное обеспечение работы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Алексеева И. Ю., Ведерников А. С., Скрипачев М. О. Прогнозирование электропотребления с использованием метода искусственных нейронных сетей // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2010. № 4(27). С. 135–138. EDN: NCTCXP.

³ АО "МОЭСК" – АО "Мурманская областная электросетевая компания".

- Гольдштейн В. Г., Кузнецов Д. В., Романов В. С. Применение инновационных типов электрооборудования в системах электроснабжения современных мегаполисов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2014. № 3. С. 23–25. EDN: QMKTRL.
- Гореева Н. М., Демидова Л. Н. Статистика. М. : Прометей. 2019. 496 с.
- 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. EDN: PAJHBN.
- Грачева Е. И., Наумов О. В., Садыков Р. Р. Учет холостого хода трансформаторов в период эксплуатации при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 1–2. С. 53–63. EDN: VXLFSB.
- Грачева Е. И., Наумов О. В., Федотов Е. А. Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 7–8. С. 71–77. EDN: ZTQXSD.
- Жилкина Ю. В. Концепции интернета вещей как способ мотивации к энергосбережению // Электрические станции. 2020а. № 2(1063). С. 23–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2020.1063.2.004>. EDN: HOOSPG.
- Жилкина Ю. В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020б. № 1. С. 29–32. EDN: UCPRRI.
- Лоскутов А. Б., Лоскутов А. А., Зырин Д. В. Разработка и исследование гибкой интеллектуальной электрической сети среднего напряжения, основанной на гексагональной структуре // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2016. № 3(114). С. 85–94. EDN: WNGDRN.
- 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. EDN: RTXSTD.
- Надтока И. И., Павлов А. В. Повышение точности расчета электрических нагрузок многоквартирных домов с электроплитами // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2015. № 2. С. 45–48. DOI: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2015-2-45-48>. EDN: TWMWPJ.
- Солюянов Ю. И., Федотов А. И., Ахметшин А. Р., Халтурин В. А. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях на основе анализа их фактических нагрузок // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 5(62). С. 68–73. EDN: CRFVEN.
- Солюянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я., Чернова Н. В. [и др.]. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2021-6-62-71>. EDN: RRSRRX.
- Солюянов Ю. И., Чернова Н. В., Федотов А. И., Ахметшин А. Р. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы // Промышленная энергетика. 2022. № 9. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.34831/EP.2022.82.36.002>. EDN: KBOZXD.
- Степанов В. С., Солонина Н. Н., Суслов К. В. К вопросу повышения качества электроэнергии в сетях электроснабжения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 12(107). С. 197–203. EDN: VHISBT.
- Albert A., Rajagopal R. Smart meter driven segmentation: what your consumption says about you // IEEE Transactions on Power Systems. 2013. Vol. 28, Iss. 4. P. 4019–4030. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2266122>.
- Carroll P., Murphy T., Hanley M., Dempsey D. [et al.]. Household classification using smart meter data // Journal of Official Statistics. 2018. Vol. 34, № 1. P. 1–25.
- Cembranel S. S., Lezama F., Soares J., Ramos S. [et al.]. A short review on data mining techniques for electricity customers characterization // 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia), Bangkok, Thailand, 19–23 March 2019. IEEE, 2019. P. 194–199. DOI: <https://doi.org/10.1109/GTDAsia.2019.8715891>.
- James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R. An introduction to statistical learning with Applications in R. New York : Springer, 2021. 607 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>.
- 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, Washington, USA, 21–23 October 2018. IEEE, 2018. P. 4986–4991. DOI: <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591249>.
- Ledva G. S., Mathieu J. L. Separating feeder demand into components using substation, feeder, and smart meter measurements // IEEE Transactions on Smart Grid. 2020. Vol. 11, Iss. 4. P. 3280–3290. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2967220>.
- Mai W., Chung C. Y., Wu T., Wong W. C. Electric load forecasting for large office building based on radial basis function neural network // IEEE PES General Meeting (IEEE General Meeting Power & Energy Society),

Conference & Exposition, National Harbor, MD, USA, 27–31 July 2014. IEEE, 2014. Article number: 6939378. DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGM.2014.6939378>.

Soluyanov Yu. I., Fedotov A. I., Ahmetshin A. R. Calculation of electrical loads of residential and public buildings based on actual data // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 643, International Scientific Electric Power Conference – 2019, Saint Petersburg, Russian Federation, 23–24 May 2019. IOP Publishing, 2019. Article number: 012051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/643/1/012051>.

Yao D., Wen M., Liang X., Fu Z. [et al.]. Energy theft detection with energy privacy preservation in the smart grid // IEEE Internet of Things Journal. 2019. Vol. 6, Iss. 5. P. 7659–7669. DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2903312>.

References

Alekseeva, I. Yu., Vedernikov, A. S., Skripachev, M. O. 2010. Forecasting of power consumption using the method of artificial neural networks. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 4(27), pp. 135–138. EDN: NCTCXP. (In Russ.)

Goldstein, V. G., Kuznetsov, D. V., Romanov, V. S. 2014. Application of innovative types of electrical equipment in power supply systems of modern megacities. *Russian Electromechanics*, 3, pp. 23–25. EDN: QMKTRL. (In Russ.)

Goreeva, N. M., Demidova, L. N. 2019. Statistics. Moscow. (In Russ.)

Gofman, A. V., Vedernikov, A. S., Vedernikova, E. S. 2012. Improving the accuracy of short-term and operational forecasting of the power consumption of the energy system using an artificial neural network. *Electrical Stations*, 7(972), pp. 36–41. EDN: PAJHBH. (In Russ.)

Gracheva, E. I., Naumov, O. V., Sadykov, R. R. 2016. Accounting for idle waste of transformers during operation when calculating power losses in distribution networks. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*, 1–2, pp. 53–63. EDN: VXLFSB. (In Russ.)

Gracheva, E. I., Naumov, O. V., Fedotov, E. A. 2017. Influence of the load capacity of power transformers on their operational characteristics. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*, 19(7–8), pp. 71–77. EDN: ZTQXSD. (In Russ.)

Zhilkina, Yu. V. 2020a. Concepts of the Internet of things as a way to motivate energy saving. *Electrical Stations*, 2(1063), pp. 23–26. DOI: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2020.1063.2.004>. EDN: HOOSPG. (In Russ.)

Zhilkina, Yu. V. 2020b. Processes of reforming the electric power industry in Russia. *Energetik*, 1, pp. 29–32. EDN: UCPRI. (In Russ.)

Loskutov, A. B., Loskutov, A. A., Zyrin, D. V. 2016. Development and research of a flexible medium voltage intelligent electrical network based on a hexagonal structure. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alexeyev*, 3(114), pp. 85–94. EDN: WNGDRN. (In Russ.)

Loskutov, A. B., Sosnina, E. N., Loskutov, A. A., Zyrin, D. V. 2013. Intelligent distribution networks 10–20 kV with hexagonal configuration. *Industrial Power Engineering*, 12, pp. 3–7. EDN: RTXSTD. (In Russ.)

Nadtoka, I. I., Pavlov, A. V. 2015. Improving the accuracy of calculating the electrical loads of apartment buildings with electric stoves. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2, pp. 45–48. DOI: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2015-2-45-48>. EDN: TWMWPI. (In Russ.)

Soluyanov, Yu. I., Fedotov, A. I., Akhmetshin, A. R., Khalturin, V. A. 2020. Energy-saving solutions in electrical distribution networks based on the analysis of their actual loads. *Electric Power. Transmission and Distribution*, 5(62), pp. 68–73. EDN: CRFVEH. (In Russ.)

Soluyanov, Yu. I., Fedotov, A. I., Galitsky, Yu. Ya., Chernova, N. V. et al. 2021. Actualization of normative values of the specific electrical load of apartment buildings in the Republic of Tatarstan. *Elektrichestvo*, 6, pp. 62–71. DOI: <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2021-6-62-71>. EDN: RRSRRX. (In Russ.)

Soluyanov, Yu. I., Chernova, N. V., Fedotov, A. I., Akhmetshin, A. R. 2022. Analysis of the actual electrical loads of apartment buildings in Moscow. *Industrial Power Engineering*, 9, pp. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.34831/EP.2022.82.36.002>. EDN: KBOZXD. (In Russ.)

Stepanov, V. S., Solonina, N. N., Suslov, K. V. 2015. On the issue of improving the quality of electricity in power supply networks. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 12(107), pp. 197–203. EDN: VHISBT. (In Russ.)

Albert, A., Rajagopal, R. 2013. Smart meter driven segmentation: what your consumption says about you. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(4), pp. 4019–4030. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2266122>.

Carroll, P., Murphy, T., Hanley, M., Dempsey, D. et al. 2018. Household classification using smart meter data. *Journal of Official Statistics*, 34(1), pp. 1–25.

Cembranel, S. S., Lezama, F., Soares, J., Ramos, S. et al. 2019. A short review on data mining techniques for electricity customers characterization. *IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia)*, Bangkok, Thailand, 19–23 March 2019, pp. 194–199. DOI: <https://doi.org/10.1109/GTDAsia.2019.8715891>.

- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. 2021. An introduction to statistical learning with Applications in R. New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>.
- Latifi, M., Sabzehgar, R., Rasouli, M. 2018. Reactive power compensation using plugged-in electric vehicles for an AC power grid. *IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington, USA, 21–23 October 2018, pp. 4986–4991. DOI: <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591249>.
- Ledva, G. S., Mathieu, J. L. 2020. Separating feeder demand into components using substation, feeder, and smart meter measurements. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), pp. 3280–3290. DOI: <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2967220>.
- Mai, W., Chung, C. Y., Wu, T., Wong, W. C. 2014. Electric load forecasting for large office building based on radial basis function neural network. *IEEE PES General Meeting (IEEE General Meeting Power & Energy Society), Conference & Exposition, National Harbor, MD, USA, 27–31 July 2014*. Article number: 6939378. DOI: <https://doi.org/10.1109/PESGM.2014.6939378>.
- Soluyanov, Yu. I., Fedotov, A. I., Ahmetshin, A. R. 2019. Calculation of electrical loads of residential and public buildings based on actual data. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 643, International Scientific Electric Power Conference – 2019, Saint Petersburg, Russian Federation, 23–24 May 2019. Article number: 012051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/643/1/012051>.
- Yao, D., Wen, M., Liang, X., Fu, Z. et al. 2019. Energy theft detection with energy privacy preservation in the smart grid. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), pp. 7659–7669. DOI: <https://doi.org/10.1109/IJOT.2019.2903312>.

Сведения об авторах

Солуянов Юрий Иванович – пер. Электрический, 3/10, г. Москва, Россия, 123557;
Ассоциация "Росэлектромонтаж", д-р техн. наук, профессор; e-mail: info@roselmon.su

Yuri I. Soluyanov – 3/10 Electric Str., Moscow, Russia, 123557; Association "Roselectromontazh",
Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: info@roselmon.su

Федотов Александр Иванович – ул. Красносельская, 51, г. Казань, Россия, 420066;
Казанский государственный энергетический университет, д-р техн. наук, профессор;
e-mail: fed.ai@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-8038>

Alexander I. Fedotov – 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, Russia, 420066;
Kazan State Power Engineering University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: fed.ai@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-8038>

Ахметшин Азат Ринатович – ул. Красносельская, 51, г. Казань, Россия, 420066;
Казанский государственный энергетический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: ahmetshin.ar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>

Azat R. Akhmetshin – 51 Krasnoselskaya Str., Kazan, Russia, 420066;
Kazan State Power Engineering University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: ahmetshin.ar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4424-7761>

Чернова Наталья Владимировна – пер. Электрический, 3/10, г. Москва, Россия, 123557;
Ассоциация "Росэлектромонтаж", канд. техн. наук, вед. специалист; e-mail: nv.chernova@list.ru

Natalya V. Chernova – 3/10 Electric Str., Moscow, Russia, 123557; Association "Roselectromontazh",
Cand. Sci. (Engineering), Leading Specialist; e-mail: nv.chernova@list.ru

Солуянов Владимир Иванович – ул. Адоратского, 50а, г. Казань, Россия, 420132;
АО "Татэлектромонтаж", гл. инженер;
e-mail: vs@tatem.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0004-7509>

Vladimir I. Soluyanov – 50a Adoratsky Str., Kazan, Russia, 420132;
JSC "Tatelektromontazh", Chief Engineer;
e-mail: vs@tatem.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0004-7509>