

**К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов**© Игорь Владимирович Наумов^{1,2}¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия²Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского, Иркутский р-н, Россия, professornaumov@list.ru

Аннотация. Цель – выявить возможные способы снижения пожарной опасности при индивидуальном жилищном строительстве. В работе применялась совокупность общенаучных методов, в том числе методы теории электрических цепей, метод численного анализа и методы визуализации с применением графического редактора *Matlab*. Осуществлен анализ состояния жилищного строительства в Российской Федерации и, в частности, в Байкальском регионе. Установлено, что, в соответствии с национальными проектами, в последние годы значительно повысился уровень развития индивидуального домостроения. При этом при строительстве увеличивается процент использования деревянных конструкций, которые в значительной степени подвержены угрозе возникновения пожароопасных состояний. Проанализировано состояние пожарной опасности Иркутской области, и установлена одна из наиболее вероятных причин возгораний, связанная с нарушением правил устройства и эксплуатации электроустановок. Доказано, что наиболее часто встречающейся причиной таких нарушений является несимметрия фазных токов, вызывающая дополнительные тепловые потери, способствующие возникновению пожаров. На реальном примере доказана эффективность использования симметрирующих устройств для снижения последствий несимметричного электропотребления. Осуществление мероприятий по симметрированию режимов работы внутренней электрической сети жилого дома является одним из наиболее действенных способов снижения пожарной опасности в индивидуальных жилых домах. По результатам исследования разработаны рекомендации, которые могут быть интересны специалистам строительных организаций, а также сотрудникам МЧС, контролирующим состояние пожарной безопасности индивидуальных жилых домов.

Ключевые слова: несимметрия фазных токов, дополнительные потери мощности, короткие замыкания, пожарная опасность, нарушение правил устройства и эксплуатации электроустановок, симметрирующее устройство, перераспределение электрических нагрузок потребителей

Для цитирования: Наумов И. В. К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 350–361. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.

Original article**Revisiting the issue of fire safety in private housing construction**Igor V. Naumov^{1,2}¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsky district, Russia, professornaumov@list.ru

Abstract. Possible approaches to reducing the fire hazard in private housing construction are considered. The study was conducted using general scientific methods, including network analysis, numerical analysis and the methods of visualisation using *Matlab* graphic editor. The current state of housing construction in the Russian Federation and, in particular, Baikal region, is analysed. It was established that, due to the implementation of national projects, the level of private housing construction has increased considerably in recent years. At the same time, the use of wooden structures, which are exposed to increased threat of fire hazards, is gaining in popularity. An analysis of fire hazard in Irkutsk Oblast revealed that one of

the most probable causes of ignition is associated with the violation of rules for arrangement and operation of electricity-generating equipment. The most common cause of such violations was proved to be the asymmetry of phase currents, which causes additional heat losses contributing to the occurrence of fires. The effectiveness of balancing devices in reducing the consequences of asymmetric power consumption was confirmed on a specific example. The implementation of measures to balance the operating modes of internal electrical networks of residential buildings represents one of the most effective ways to reduce fire risks in private residential buildings. Based on the obtained results, a set of recommendations is proposed for use by specialists of construction organizations, as well as employees of the Ministry of Emergency Situations controlling the fire safety of individual residential buildings.

Keywords: asymmetry of phase currents, additional power losses, short circuits, fire hazard, violation of the rules for the design and operation of electrical installations, balancing device, redistribution of electrical loads of consumers

For citation: Naumov I. V. Revisiting the issue of fire safety in private housing construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):350-361. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-350-361>.

Введение

Население планеты неуклонно возрастает. На 15:51 26.08.2022 г. количество народонаселения планеты составило 8 012 469 676 чел., для России эта цифра составляет 146 062 150 чел., для Иркутской области (ИО) – 2 357 134 (г. Иркутск – 26,19 %)¹. Соответственно этому развивается жилищное строительство и постоянно увеличивается его объем. Так, по данным сайта «Риарейтинг»², общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя рейтинговых по объему ввода жилья городов (100 городов России), составляет 26,717 м² на человека. При этом средний объем введенного жилья в 2021 г. составил 447,185 тыс. м². В Иркутске эти цифры на тот же период составляют 28,29 м² и 279,1 м² соответственно (60-е место по России, на 1-м месте г. Краснодар – 39,9 м² и 2617 м² соответственно). В общем увеличении объема жилищного строительства, в соответствии с поручением Президента РФ, на первое место выдвигается инициатива «Мой частный дом», в соответствии с которой к 2030 г. предусматривается ввод в эксплуатацию 60 млн м² индивидуальных жилых домов³ (ИЖД⁴). Но при этом непрекращающимся бедствием являются

возгорания, происходящие на различных объектах жизнедеятельности людей.

Ежеминутно население планеты страдает от различных по своей интенсивности пожаров, в которых гибнут десятки тысяч людей, сотни тысяч получают серьезные травмы и растет невосполнимый материальный ущерб. По опубликованным данным, при обследовании 36 % населения планеты (более 2,7 млрд чел.) в 46 странах мира установлено, что в среднем на каждые 100 тыс. человек при пожарах гибнет 1,1 человек, 1,9 чел. получают травмы. При этом на каждые 100 пожаров в среднем приходится 0,7 погибших и 1,1 травмированных людей [1]. Причины возникновения пожаров весьма многообразны, их анализу уделяется значительное внимание в отечественной и зарубежной литературе [2, 3].

Ежегодно мы все являемся свидетелями катастрофических лесных пожаров, в результате которых ежегодно уничтожается по всему миру сотни тысяч гектар леса, гибнут и получают травмы люди и теряют свое имущество и жилье. Лесные пожары – особая тема, и в данной статье она не рассматривается. Речь идет о тех пожарах, которые возникают непосредственно в жилых помещениях, причины которых также весьма многообразны. Но в

¹Счетчик населения Земли [Электронный ресурс]. URL: <https://countrymeters.info/ru/World> (26.08.2022);

Численность постоянного населения Иркутской области по Муниципальным образованиям (на начало года) [Электронный ресурс]. URL: https://irkutskstat.gks.ru/storage/mediabank/post_nas_2022.html (26.08.2022).

²Рейтинг городов России по объемам ввода жилья – 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://riarating.ru/infografika/20220808/630226990.html> (26.08.2022).

³Деревянное домостроение и вызовы 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13414/> (26.08.2022);

Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития РФ до 2030 г.: Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2021 г. № 2816-р [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402792803/> (26.08.2022).

⁴К понятию ИЖД следует относить: индивидуальные частные жилые дома в городах и сельских населенных пунктах; дачи, коттеджи, а также дома в коттеджных поселках в черте и за чертой городов.

данном исследовании речь будет идти о тех пожарах, которые обусловлены одной из традиционных причин возгораний – нарушением Правил устройства и эксплуатации электрооборудования (НПУ и ЭЭ)⁵. Так, при анализе пожаров за период 2000–2020 гг. установлено, что более 20 % всех пожаров приходится именно на указанную причину, а из общего количества погибших (263 482 чел.) по причине НПУ и ЭЭ в пожарах за этот период погибло 17,17 %. Из общего количества травмированных (238 648 чел.) на причину НПУ и ЭЭ приходится 17,54 %, а общий материальный ущерб от пожаров по этой причине составил 33,92 % (77 940 336 тыс. рублей) [3].

Целью статьи является исследование возможности снижения пожарной опасности в индивидуальном жилищном строительстве. При этом предполагается решение следующих *задач*: характеристика современного жилищного строительства в Байкальском регионе; анализ возникновения пожароопасных ситуаций и их причин; исследование возможных способов минимизации пожароопасных ситуаций в ИЖД и разработка рекомендаций.

Методы

Теоретическую и методологическую базу исследования представляют изложенные в научной литературе и специальной периодической печати различные подходы к механизму определения симметричных составляющих токов и напряжений при несимметричном электропотреблении, научные труды российских ученых и специалистов, посвященных исследованию несимметричных режимов работы электрических сетей, а также функционирования средств симметрирования. Информационную базу исследования составили аналитические материалы Министерства чрезвычайных ситуаций и информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», официальные сайты компаний, представляющих новые конструкционные материалы. В работе применялась совокупность общенаучных методов, в том числе методы теории электрических цепей, численного анализа и визуализации с использованием графического редактора *Matlab*.

Результаты исследования Характеристика современного домостроения и уровня пожарной опасности в Иркутской области

Жилищное строительство в Байкальском регионе в последнее время развивается достаточно интенсивно. На основе обработки данных Министерства строительства Иркутской области⁶ получены диаграммы, иллюстрирующие динамику сдачи в эксплуатацию жилья за 8 месяцев 2022 г. (рис. 1).

Анализ рис. 1 показал, что с января по август 2022 г. включительно⁷ в Байкальском регионе (Иркутская область – ИО, Республика Бурятия – РБ) введено в эксплуатацию 8834 тыс. м² жилья, что составляет 1,143 % (772 874 тыс. м²) от объема жилья, введенного в эксплуатацию за то же время по Российской Федерации. В ИО введено 6187 тыс. м² (0,8 %), в РБ – 2647 тыс. м² (0,343 %). Безусловно, это значительно меньше, чем темпы жилищного строительства в Московской области за этот же период (9,21 % – 71 185 тыс. м²) или даже в Красноярском крае (1,7 % – 13 139 тыс. м²), но, как видно, строительство в нашем регионе развивается достаточно быстрыми темпами.

При этом наиболее распространенным материалом стен строящихся домов в Иркутской области является монолит-кирпич. Из него возводится 58,6 % от всей площади жилищного строительства. В целом по Российской Федерации доля монолитно-кирпичного домостроения в пересчете на площадь жилых единиц в строящихся домах – 63,6 %. Эти данные относятся к многоэтажному строительству⁸.

Индивидуальное жилищное строительство в Иркутской области развивается также значительными темпами. Так, по опубликованным данным, в Иркутской области за шесть месяцев 2021 г. объем ввода индивидуального жилья вырос на 43,92 % по сравнению с аналогичным периодом 2020 года и достиг 583,8 тыс. м², из них 413,6 тыс. м² построено населением. При этом градостроительный потенциал индивидуального жилья составляет⁹ 8,3 млн м².

Таким образом, темпы строительства индивидуальных жилых домов в Иркутской области

⁵О формировании электронных баз данных учета пожаров и их последствий (вместе с Порядком заполнения и представления карточки учета пожара): Приказ МЧС России от 24.12.2018 N 625. Приложение N 2. Порядок заполнения и представления карточки учета пожара. Часть 2. Порядок заполнения карточки учета. Раздел II. Объект пожара. 27. Причина пожара. Таблица 14 [Электронный ресурс]. URL: https://sudact.ru/law/prikaz-mchs-rossii-ot-24122018-n-625/prilozhenie-n-2/chast-2/razdel-ii_1/27/tablica-14/ (24.08.2022).

⁶Официальный сайт Министерства строительства Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: <https://irkobl.ru/sites/irkstroy/news/1228655/?type=original> (25.08.2022).

⁷Данные предоставлены на 25.08.2022 г.

⁸Перспективные направления развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/parliamentary/135493/> (26.08.2022).

⁹Там же.

очень высоки, и в ближайшее время следует ожидать взрывного роста числа именно ИЖД. Это отчетливо можно проследить, анализируя

и растущую стоимость многоквартирного жилья, и среднюю продажную стоимость ИЖД¹⁰ (рис. 2).

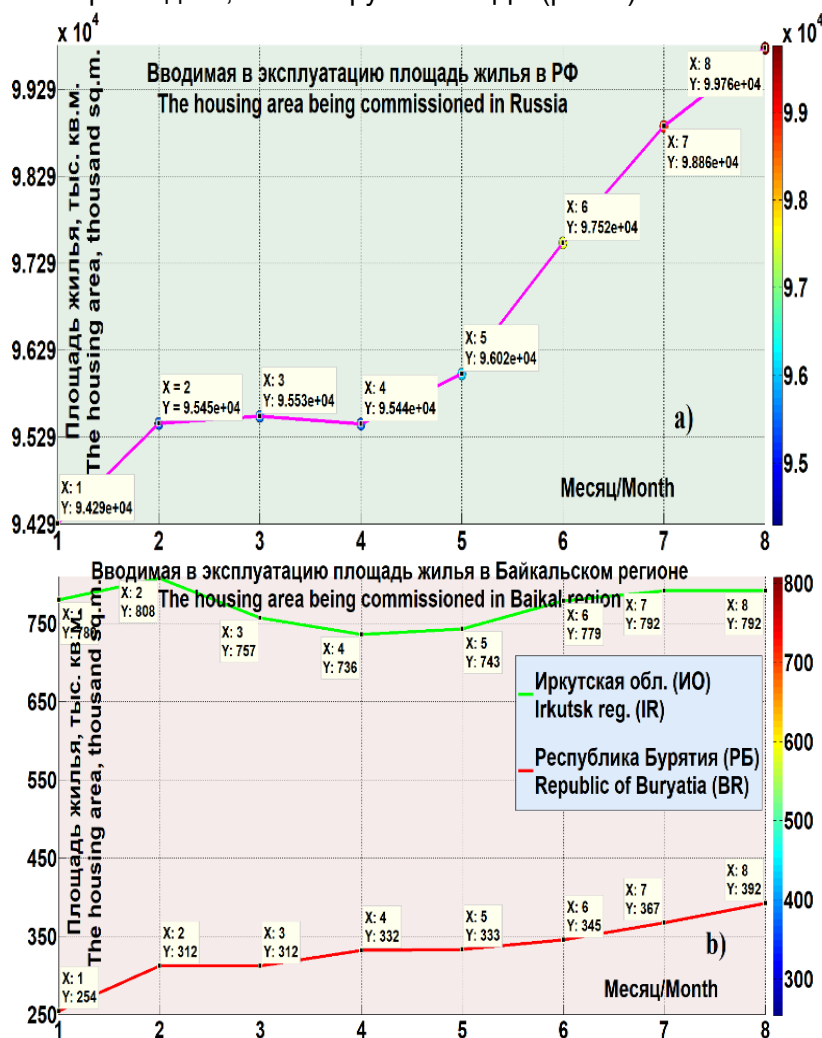


Рис. 1. Динамика строительства на территории России (а) и в Байкальском регионе (b)
Fig. 1. Dynamics of housing construction in Russia (a) and in the Baikal region (b)

На рис. 2 а по оси абсцисс с 1 по 13 откладываются кварталы, начиная с 1 квартала 2021 г., заканчивая 2-м кварталом 2022 г. Как видно, стоимость квартир во 2-м квартале 2022 г. составила 83 021 руб. за 1 м² (рис. 2 а), а на 3-й квартал стоимость¹¹ установлена в размере 89 775 руб./м². Таким образом, начиная с 1 квартала 2021 г. (42 319 руб./м²) по 3 квартал 2022 г. стоимость 1 м² увеличилась в 2,12 раза, то есть более чем на 100 %. При

этом стоимость ИЖД (рис 2 б), изменяясь в течение года, возрастая с 4-го квартала 2021 г. по 2 квартал 2022 г., ближе к концу 3-го квартала 2022 г. вновь уменьшается, и на 25.08.22 в среднем составляет 5 627 345,4 руб. (почти на 10 % меньше, чем в это же время в 2021 г.)¹².

Как следует из проведенного анализа, строительство (или приобретение) ИЖД становится наиболее перспективным.

¹⁰Динамика средних цен. Дачи, коттеджи, дома в коттеджных посёлках [Электронный ресурс]. URL: <https://irkutsk.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-domov/> (25.08.2022);

Перечень поручений Президента Российской Федерации по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента РФ по вопросам жилищного строительства от 17.07.2019 года № ПР-1382.

¹¹Стоимость одного квадратного метра жилья в Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: <https://mnogodetey.ru/regions/irkobl/kvmetr/> (25.08.2022).

¹²Динамика средних цен. Дачи, коттеджи, дома в коттеджных посёлках [Электронный ресурс]. URL: <https://irkutsk.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-domov/> (25.08.2022).

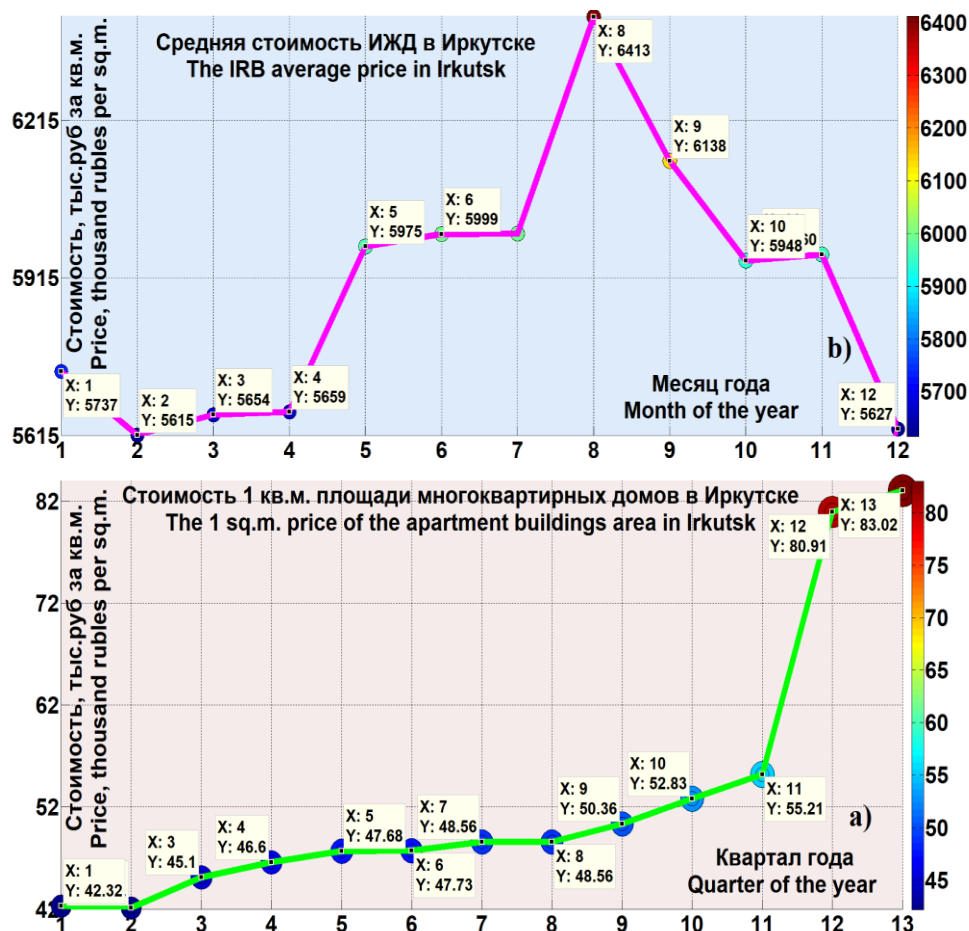


Рис. 2. Динамика изменения стоимости 1 м² жилья в многоквартирных домах (a) и усредненная стоимость индивидуальных жилых домов (ИЖД) в Иркутске (b)

Fig. 2. The price changes dynamics of housing 1 m² in apartment buildings (a) and the average individual residential buildings (IRB) price in Irkutsk (b)

И, кроме того, задача развития сферы индивидуального жилищного строительства предусматривает улучшение жилищных условий граждан путем стимулирования роста ввода таких объектов для «...не менее 5 миллионов семей ежегодно» и «...ввода в эксплуатацию индивидуальных жилых домов в размере 60 млн. кв. метров»¹³.

В дополнение к сказанному необходимо отметить, что в 2018 г. объем деревянного домостроения составлял 7,09 млн м², в 2019 г. – 8,83 млн м²; в 2020 году он вырос на 1 млн 29 тысяч м² и в целом составил 9,859 млн м². В 2021 г. доля полностью деревянного жилья в России достигла 24 % всего

объема жилья¹⁴. Согласно официальной статистике, за четыре месяца в России всего введено 37,6 млн кв. м жилья – на 58 % больше, чем за тот же период прошлого года. С января по апрель 2022 г. населением построено 23,682 млн кв. м жилья, по сравнению с показателями января-апреля 2021 года прирост составил 77,1 %. Самая высокая доля индивидуального жилого строительства в общем объеме строительства наблюдается в Северо-Кавказском федеральном округе (83,6 %), Дальневосточном ФО (73 %) и Южном ФО (70,6 %) ¹⁵.

В Иркутской области, по данным на 1 августа 2022 г., в регионе введено 692 тысячи квадратных жилья, из них 189 тысяч – это

¹³Перспективные направления развития индивидуального жилищного строительства в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/parliamentary/135493/> (26.08.2022); Перечень поручений Президента Российской Федерации по результатам проверки исполнения законодательства и решений Президента РФ по вопросам жилищного строительства от 17.07.2019 года № ПР-1382.

¹⁴Ассоциация деревянного домостроения [Электронный ресурс]. URL: <https://npadd.ru/novosti/dolya-derevyanogo-domostroeniya-ot-vsego-stroyashchegosya-zhilya-v-rossii-dostigla-24-protentov/> (26.08.2022).

¹⁵Сибдом. Иркутская область [Электронный ресурс]. URL: <https://irk.sibdom.ru/news/17994/> (26.08.2022).

многоквартирные дома, 503 тысячи приходится на индивидуальные¹⁶.

В Республике Бурятия, по данным на 18 августа 2022 г., за январь-июль текущего года сдано в эксплуатацию 161 815 м² ИЖД, построенных населением, что на 2459 м² больше, чем за аналогичный период 2021 г.¹⁷.

Таким образом, уровень индивидуального жилищного строительства непрерывно возрастает. Соответственно этому возрастает и опасность пожаров, особенно в ИЖД, сооружаемых из деревянных конструкций. Поэтому необходимо обратить повышенное внимание на предотвращение возможных возгораний при строительстве жилья. Рассмотрим динамику возникновения пожаров на объектах жилищного строительства в России и, в частности, на территории Байкальского региона.

Анализ пожарной активности, причин и средств предотвращения возгораний

По данным ГУ МЧС России по Иркутской области, за 12 месяцев 2021 г. в Иркутской области произошло 6238 пожаров, в которых погибло 177 человек (из них 16 детей), травмировано 203 чел. (22 ребенка). Общий материальный ущерб составил 32 3378 547 руб. При этом наибольшее количество пожаров происходило именно в зданиях жилого сектора (46,43 %)¹⁸. За 6 месяцев 2022 г. по РФ произошло 197 100 пожаров, в Иркутской области – 3742 (около 2 % всех пожаров), в Республике Бурятия – 3335 (1,69 %). Количество погибших людей за этот период составило: по РФ – 4092 чел., по ИО – 112 (2,74 %), по РБ – 9 (0,2 %). При этом следует отметить, что по увеличению числа погибших от пожаров Иркутская область за этот период заняла 2-е место. На 1-м месте Ростовская обл. (2,76 %), на 3-м – Кемеровская обл. (2,71 %). Общий зарегистрированный материальный ущерб от

пожаров за первую половину 2022 г. в РФ составил 7,4 млрд рублей¹⁹.

Анализ причин, по которым произошли пожары в 2021 г. на территории РФ, показал, что из общего количества пожаров (6238) доля пожаров по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования (НПУ и ЭЭ) составила 28,6 % (1784 пожара). То есть данная причина пожаров занимает 2-е место из 16 (на 1-м месте – неосторожное обращение с огнем, 48,96 %). При этом, по сравнению с 2020 г., количество таких пожаров возросло на 15 % (1551 – в 2020 г.)²⁰.

Рассмотрим, каким образом происходит НПУ и ЭЭ.

Бытовое электропотребление, обусловленное обеспечением нормальных условий жизнедеятельности населения, всегда связано с определенной опасностью, поскольку электрическая энергия непосредственно является зоной повышенной опасности, особенно при пренебрежении установленными в законодательном порядке Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)²¹. Указанная причина возникновения пожароопасных ситуаций (НПУ и ЭЭ) имеет достаточно много различных составляющих, связанных с нарушением ПУЭ. Но есть и такая составляющая, незнание особенностей которой чрезвычайно опасно при осуществлении внутренних электропроводок жилых зданий и сооружений.

Речь идет о несимметрии фазных токов и ее последствиях. Суть проблемы заключается в том, что сечение проводников, используемых для внутридомовой электрической сети (ВЭС), выбирается по номинальным параметрам (ток, напряжение, мощность) и проверяется по длительно допустимому току послеаварийного режима²². Но дело в том, что этот ток устанавливается для режима работы электрической сети (ЭС), при котором нагрузка

¹⁶В России зафиксирован бум индивидуального жилищного строительства [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/turbo/expert.ru/s/2022/05/20/v-rossii-zafiksirovan-bum-individualnogo-zhilishchnogo-stroitelstva/> (26.08.2022).

¹⁷Строительство жилых домов по районам Республики Бурятия в январе-июле 2022 года [Электронный ресурс]. URL: https://burstat.gks.ru/storage/mediabank/11-05-03_202207.pdf (26.08.2022).

¹⁸МЧС России. Главное управление по Иркутской области. Пожары за 2021 год [Электронный ресурс]. URL: <https://38.mchs.gov.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota/statisticheskie-dannye/2021-god> (26.08.2022).

¹⁹Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 6 месяцев 2022 года [Электронный ресурс]. URL: ireman.club/literature/analiz-obstanovki-s-pozharami-i-ih-posledstviyami-na-territorii-rf-za-6-mesyaczev-2022/ (26.08.2022).

²⁰Там же.

²¹ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (25.08.2022).

²²За длительно допустимый ток принимается максимальный рабочий ток, который можно пропустить по проводнику заданного сечения при условии не превышения максимальной температуры нагрева, установленной для данного сечения.

всех фаз трехфазной системы одинакова, то есть фазные токи и, соответственно, напряжения равны. В действительности любая трехфазная ВЭС объективно работает в режиме значительной несимметрии фазных токов и напряжений. Это однозначно установлено многочисленными многолетними исследованиями [4–12 и проч.].

В том случае, когда мощность электрических потребителей в ВЭС была бы равномерно распределена по фазам трехфазной сети, ток в нулевом проводнике был бы равен нулю (этот общеизвестный факт вытекает из теории электрических цепей)²³.

Но так как мощность электрической нагрузки внутридомовых электроприемников неравномерно распределена по фазам трехфазной системы, и, кроме того, имеет вероятностный характер коммутаций (холодильники, водонагреватели, посудомоечные машины, чайники, СВЧ-печи, освещение и проч.), то в результате таких включений-отключений система фазных токов становится несимметричной и в нейтральном (нулевом) проводнике начинает протекать достаточно большой ток.

В итоге на отдельных участках ВЭС суммарный ток в нейтральном проводнике перегревает изоляцию, которая, разрушаясь, приводит к возникновению сначала однофазных, а затем и двух-, и трехфазных коротких замыканий. Безусловно, в этот момент должна срабатывать защита в виде автоматических выключателей, установленных в главном внутридомовом распределительном щите. Однако в большинстве случаев автоматические выключатели выбираются не совсем корректно, поскольку внутренние проводки выполняются зачастую непрофессионалами, далекими от понимания тонкостей проверки этих коммутационных аппаратов на чувствительность к однофазным коротким замыканиям. В результате автоматический выключатель вовремя не разрывает цепь, возникает дуга, которая приводит к возгоранию легковоспламеняющихся конструкций. Более подробно механизм возникновения пожаров при несимметрии токов изложен в статье [13].

Установлено, что критерием оценки превышения тепловых потерь в несимметричном режиме над соответствующими потерями в условно-симметричном режиме (когда электропотребление по фазам равномерно) является коэффициент увеличения потерь мощности: K_P , который определяется по выражению:

$$K_P = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \cdot K_R, \quad (1)$$

где K_P представляет собой отношение потерь мощности в несимметричном режиме к соответствующим потерям, обусловленным протеканием только токов прямой последовательности; $K_R = r_0/r_1$ – коэффициент активного сопротивления ЛЭП; $r_1 = r_{PH}$ – активное сопротивление прямой последовательности, равное фазному сопротивлению линии электропередачи; $r_0 = r_{PH} + 3 \cdot r_N$ – активное сопротивление нулевой последовательности трехфазного кабеля ВЭС; r_N – активное сопротивление нейтрального проводника (при одинаковых сечениях фазного и нулевого проводников их активные сопротивления будут равны; соответственно, коэффициент K_R в этом случае будет равен 4); K_{2i} , K_{0i} – коэффициенты несимметрии токов по обратной и нулевой последовательностям. Все детали определения составляющих, входящих в выражение (1), подробно описаны в источниках [6–13]. Из изложенного выше следует, что в условно-симметричном режиме коэффициент потерь K_P должен быть равен 1. То есть остальные суммируемые части выражения (1) в этом случае равны 0. На самом деле в действующих ВЭС значение этого коэффициента колеблется в довольно широких пределах. Во многом уровень несимметрии токов зависит от уровня электропотребления в ИЖД, то есть от насыщенности этого дома современными электроприемниками, мощность которых достаточно высока (стиральные машины, однофазные сауны и проч.). Кроме того, в периоды отопительного сезона часто требуется дополнительный обогрев. При этом ВЭС нагружается более обычного и, если никаких мер противодействия сильнейшему перегреву не производится, создаются условия для возникновения пожара. В связи с изложенным, можно утверждать, что большая часть возгораний происходит именно по причине перегрева нейтральных проводников, что приводит к возникновению коротких замыканий и, соответственно, возникновению пожаров. Вместе с этим, кроме конкретных причин, устанавливаемых пожарной инспекцией (таких, как НПУ и ЭЭ), есть еще значительная доля так называемых неустановленных причин (НП), среди которых также высокая вероятность возникновения пожаров по причине перегрева нейтрального проводника. На рис. 3 представлены диаграммы последствий таких пожаров по НП, происходивших в мире с 2000 по 2020 гг. Как следует из этого рисунка, по НП, дополнительно к основным причинам, произошло еще 19 856 пожаров, в которых погибло 2645 и травмировано 1400

²³Матвиенко В. А. Основы теории цепей: учеб. пособ. Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. 162 с.

человек. Из всего количества травмированных людей в результате пожаров на причину НПУ и ЭЭ приходится 17,54 % случаев [3]. На основании произведенных исследований можно утверждать, что значительная доля пожаров по НП также вызвана несимметрией фазных токов с соответствующими последствиями. Таким образом, для снижения пожарной опасности в жилых помещениях в процессе эксплуатации электрических приемников, обеспечивающих нормальные условия жизнедеятельности, необходимо осуществлять ряд определенных мероприятий. В качестве примера можно рассмотреть результаты исследования работы ВЭС, которые были произведены в декабре 2021 г. и описаны в статье [9]. Исследования производились в одноэтажном ИЖД, в котором проживает семья из 6 человек. Общая установленная мощность электроприемников домовладения составляет 25 кВт. Наиболее крупными из них являются: электрическая печь, стиральная машина, два элементных водонагревателя, пять электронагревателей (работающие в период производства измерений), две электрические печи, две посудомоечные машины, прочие ЭП. Дом находится в эксплуатации 10 лет.

На рис. 4 представлена диаграмма изменения коэффициента потерь в исследуемой ВЭС ИЖД. Как видно, K_p изменяется в широких пределах, достигая предельного значения, равного 4. А среднее за период исследования значение этого показателя составило 2,47. То есть реальные тепловые потери превышают аналогичные потери мощности и электрической энергии в 2,47 раза.

Таким образом, значительная часть дополнительных тепловых потерь обусловлена именно несимметрией фазных токов. Как установлено многолетними исследованиями, минимизацию дополнительных тепловых потерь мощности рекомендуется осуществлять с помощью специальных симметрирующих устройств (СУ), конструкция, расчет и выбор параметров которых подробно рассмотрены в работах [3, 6–13].

Для приведенного примера (рис. 4) при включении СУ в электрической сети дома коэффициент K_p резко уменьшается и его среднее за период значение становится равным 1,017.

То есть эффект симметрирования приводит к снижению тепловых потерь, обусловленных несимметрией токов, в 2,43 раза.

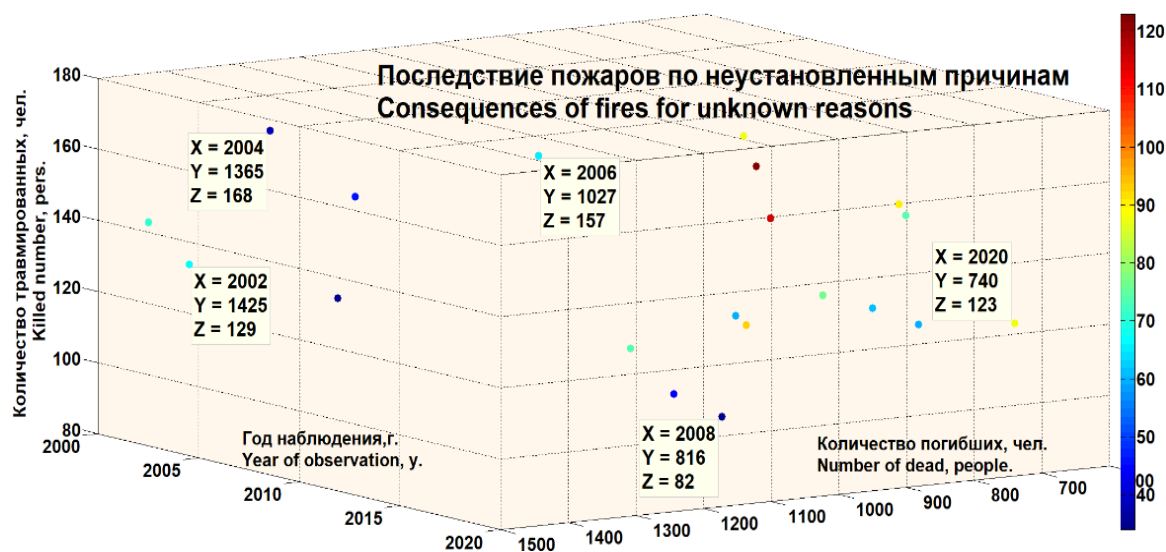


Рис. 3. Динамика последствий пожаров по неустановленным причинам в мире за 2000–2020 гг.
Fig. 3. Dynamics of the fire consequences for unknown reasons in the world for 2000-2020

Безусловно, не каждый домовладелец при строительстве жилого дома может использовать симметрирующее устройство, тем более что промышленными предприятиями они не выпускаются и рассчитываются индивидуально для каждого ИЖД.

Тем не менее каждый домовладелец может пригласить специалиста, который имеет определенные знания в этой области и способен на

основании произведенных измерений произвести перераспределение подключения однофазных электроприемников с наиболее загруженной фазы на менее загруженную.

Такая технология в среднем способствует снижению коэффициента потерь до 30 %. И конечно, при индивидуальном строительстве следует обращать повышенное внимание на негорючие конструкционные материалы,

которые по своим физико-химическим и тепло-техническим характеристикам не уступают дереву. К основным характеристикам строительного материала следует отнести надежность, долговечность, безопасность и энергоэффективность. То есть материал, из которого построен дом, должен хорошо удерживать тепло,

снижая затраты на отопление, быть максимально пожаробезопасным, служить долго без необходимости ежегодного ремонта. Перечень видов таких материалов достаточно широк, и при тщательном мониторинге каждый индивидуальный застройщик может выбрать подходящий вариант.

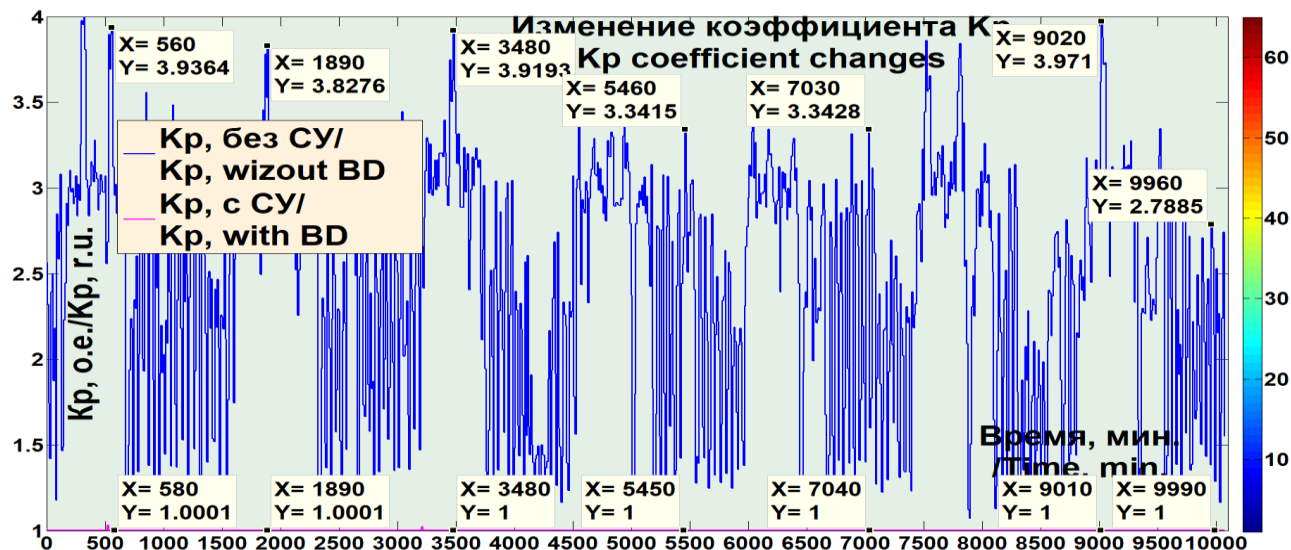


Рис. 4. Эффективность снижения тепловых потерь с помощью симметрирующих устройств
Fig. 4. Efficiency of reducing heat losses by balancing devices using

В любом случае после того, как выбран материал, из которого будет возводиться основная конструкция ИЖД, с учетом требуемых характеристик, при осуществлении монтажа внутренней электропроводки, которая составляет ВЭС дома, необходимо придерживаться следующих правил:

1. Тщательно продумать количество, расположение и мощность основных потребителей электрической энергии, которые предполагается размещать в ИЖД.

2. Соответственно выбранному составу потребителей необходимо определить количество осветительных и розеточных групп, которые будут располагаться в доме, а также количество и месторасположение распределительных коробок. При этом наиболее мощные электроприемники (стиральная машина, сауна, водонагревательное и обогревательное оборудование и т.д.) должны иметь соответствующее их мощности сечение провода, а также отдельные защитно-коммутационные аппараты, располагаемые в помещении, где собирается вводно-распределительное электрооборудование.

3. Выбор пускозащитной аппаратуры необходимо производить в соответствии с ПУЭ.

4. Выбор сечения нейтрального (нулевого рабочего проводника) лучше всего

производить на ступень выше сечения фазных проводников, при этом в качестве материала проводника использовать медь.

5. Монтаж ВЭС необходимо осуществлять в специальных защитных конструкциях, предусмотренных правилами производства электромонтажных работ.

6. После осуществления монтажа ВЭС и успешного ее испытания, через некоторое время эксплуатации (2–3 мес.) произвести соответствующие измерения токов и напряжений с целью установления уровня несимметрии. При необходимости произвести установку симметрирующего устройства либо осуществить перераспределение нагрузок электроприемников по результатам измерений.

7. Все внутренние помещения дома должны быть оснащены средствами сигнализации и пожаротушения.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. За последние годы наблюдается существенный рост индивидуального жилищного строительства, при этом большое внимание уделяется деревянному домостроению.

2. Соответственно росту числа деревянных домостроений возрастает угроза возникновения пожаров, одной из наиболее

существенных причин которых являются короткие замыкания, вызванные несимметрией фазных токов.

3. Наиболее эффективным средством минимизации несимметричных режимов во

внутренних электрических сетях ИЖД является использование специальных симметрирующих устройств и пофазное перераспределение мощности однофазных электроприемников.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Brushlinsky N. N., Ahren M. A., Sokolov S. V., Wagner P. World Fier Statistics // CTIF. International association of fier and rescue services. Center of Fier Statistics, 2020. Vol. 25. 65 p.
2. Campbell R. Home electrical fires. NFPA Research, 2019. 17 p.
3. Наумов И. В., Карамов Д. Н. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении // Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. № 1. p. 69-76. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
4. Абдиева З. Э. Оценка влияния несимметрии нагрузки на потери электрической энергии в сетях 0,4 кВ // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32-1. С. 157–159.
5. Козловская В. Б., Калечиц В. Н. Несимметричные режимы работы линий наружного освещения // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. № 62 (3). С. 232–246. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-232-246>.
6. Наумов И. В., Багаев А. А. Моделирование режимов несимметричного электропотребления в сельских распределительных электрических сетях 0,38 кВ при многоступенчатом отборе мощности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 6 (212). С. 90–104. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104>.
7. Naumov I. V., Podyachikh S. V. On the choosing the installation location the balancing devices in low-voltages distribution electric networks // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2094. p. 052012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052012>.
8. Наумов И. В. К вопросу управления несимметричными режимами работы распределительных электрических сетей 0,38 кВ // Промышленная энергетика. 2022. № 5. С. 2–14. <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.
9. Наумов И. В., Бастрон А. В. Исследование несимметричных режимов работы внутренних электрических сетей индивидуальных жилых домов в сельской местности // Вестник НГИЭИ. 2022. № 6 (133). С. 44–58. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.
10. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Bastron A. V. The Power Quality Improving and its Losses Reducing with Balancing Devices // EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. p. 012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012160>.
11. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Tretyakov A. N. About Electric Energy Additional Losses Reduction at the Phase Currents Unbalancing in the 0.38 kV Operating Networks // EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. p. 012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012137>.
12. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Tretyakov A. N., Sheryazov S. K., Bastron A. V. "Green technologies" elements by the individual residential building's internal electrical networks operation // ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. p. 012153. <https://doi.org/10.1088/17551315/1045/1/012153>.
13. Naumov I. V., Podyachikh S. V., Yakupova M. A., Fedorinova E. S. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption // ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1045. p. 012145. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>.

REFERENCES

1. Brushlinsky NN, Ahren MA, Sokolov SV, Wagner P. World Fier Statistics. CTIF. International association of fier and rescue services. 2020;25:65 p.
2. Campbell R. Home electrical fires. NFPA Research, 2019. 17 p.
3. Naumov IV, Karamov DA. On the issue of occurrence of fire-hazardous situations with unbalanced power consumption. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021;14(1):69-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>.
4. Abdieva ZE. Estimation of influence of unsymmetry of loading on the losses of electric energy in

the networks of 0,4kv. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*. 2014;32-1:157-159. (In Russ.).

5. Kozlovskaya VB, Kalechits VN. Asymmetrical modes of outdoor lighting lines. *Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2019;62(3):232-246. (In Russ.). <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-232-246>.

6. Naumov IV, Bagaev AA. Unbalanced power consumption modes modeling in rural distribution 0.38 kv electric networks with multi-stage power take-off. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai state agricultural university*. 2022;6(212):90-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104>.

7. Naumov IV, Podyachikh SV. On the choosing the installation location the balancing devices in low-voltages distribution electric networks. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2094:052012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2094/5/052012>.

8. Naumov IV. On the control of asymmetric operation modes of 0.38-kv distribution electrical networks. *Promyshlennaya energetika*. 2022;5:2-14. (In Russ.). <https://doi.org/10.34831/EP.2022.25.51.001>.

9. Naumov IV, Bastron AV. Investigation of asymmetric modes of operation of internal electrical

networks of individual residential buildings in rural areas. *Vestnik NGIEI = Bulletin of the NGIEI*. 2022;6(133):44-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>.

10. Naumov IV, Podyachikh SV, Bastron AV. The Power Quality Improving and its Losses Reducing with Balancing Devices. *EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979:012160. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012160>.

11. Naumov IV, Podyachikh SV, Tretyakov AN. About Electric Energy Additional Losses Reduction at the Phase Currents Unbalancing in the 0.38 kV Operating Networks. *EESTE-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979:012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012137>.

12. Naumov IV, Podyachikh SV, Tretyakov AN, Sheryazov SK, Bastron AV. "Green technologies" elements by the individual residential building's internal electrical networks operation. *ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1045:012153. <https://doi.org/10.1088/17551315/1045/1/012153>.

13. Naumov IV, Podyachikh SV, Yakupova MA, Fedorinova ES. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption. *ESDCA-II-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1045:012145. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>.

Информация об авторе

И. В. Наумов,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электроснабжения и
электротехники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
Иркутский государственный аграрный
университет имени А. А. Ежевского,
664038, Иркутский р-н, пос. Молодежный, 1/1,
Россия,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Information about the author

Igor V. Naumov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of the
Department of Power Supply and Electrical
Engineering,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
Irkutsk State Agrarian University named after
A. A. Yezhevsky,
1/1 Molodezhnyy settlement, Irkutsk district,
664038, Russia,
e-mail: professornaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>

Вклад автора

Наумов И. В. провел исследование, подгото-
вил статью к публикации и несет ответствен-
ность за плагиат.

Contribution of the author

Naumov I. V. has conducted the study, prepared
the article for publication and bears the responsi-
bility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 05.08.2022.
Одобрена после рецензирования 26.08.2022.
Принята к публикации 29.08.2022.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by the author.

The article was submitted 05.08.2022.
Approved after reviewing 26.08.2022.
Accepted for publication 29.08.2022.