



О снижении пожарной опасности при эксплуатации индивидуальных домовладений

И.В. Наумов^{1,2}, И.В. Ямщикова¹✉

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,
г. Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. Целью статьи является разработка технического средства, позволяющего снизить возможность возникновения пожаров во внутренних электрических сетях индивидуальных домовладений. В ходе проведения исследований использовались общенаучные методы численного анализа, методы теории электрических цепей и теории прогнозирования. В результате проведенных исследований было установлено, что режим работы исследуемой электрической сети отличается значительной несбалансированностью электропотребления в силу несимметрии и несинусоидальности фазных токов, обусловленных появлением дополнительных симметричных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей. Значительно возрастают дополнительные тепловые потери, что приводит к перегреву нулевого проводника и возрастает опасность возникновения пожаров. На основе произведенных измерений и авторского программного обеспечения произведено имитационное моделирование интеграции разработанного авторского балансирующего устройства в исследуемую сеть. Произведенным анализом установлено, что использование данного устройства позволяет снизить дополнительные тепловые потери и уменьшить риск возникновения пожаров более чем на 90 %. На основе использования статистических методов прогнозирования, в частности метода регрессионного анализа, произведена превентивная оценка уровня дополнительных потерь электроэнергии на отдаленную перспективу. Получены уравнения авторегрессии, позволяющие, с определенной вероятностью предсказать значение показателя, характеризующего дополнительные потери мощности. Для получения визуализации изменения исследуемых показателей использовались технологии графического редактора MATLAB, а также возможности программного обеспечения Excel. Полученные результаты могут быть полезны строительным организациям при проектировании внутренней электрической сети индивидуальных домовладений, а также научным работникам, ведущим научные исследования в снижении дополнительных потерь электрической энергии.

Ключевые слова: несбалансированность электропотребления, несимметрия и несинусоидальность токов, коэффициент потерь мощности, балансирующее устройство, превентивная оценка

Для цитирования: Наумов И.В., Ямщикова И.В. О снижении пожарной опасности при эксплуатации индивидуальных домовладений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 326–339. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-326-339>. EDN: JQCROG.

Original article

On fire risk reduction when operating individual households

Igor V. Naumov^{1,2}, Irina V. Yamshchikova¹✉

¹Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk, Russia

Abstract. The article aims to elaborate a technical means for reducing fire occurrence in internal electrical networks of individual households. General scientific methods of numerical analysis, electric circuit theory, and prediction theory were used. It was determined that the operating mode of the electric network under study is characterized by a significant unbalanced power consumption due to the asymmetry and non-sinusoidality of phase currents caused by the occurrence of additional symmetrical components of forward, reverse, and zero sequences. Additional heat losses increase significantly and lead to overheating of the neutral conductor, thus intensifying fire risks. On the basis of measurements and the authors' software, a simulation modeling of integration of the developed balancing device into the investigated network was carried out. The conducted analysis found that the developed device can reduce additional heat losses and fire risks by over 90%. Using statistical methods of forecasting, regression analysis in particular, a preventive long-term assessment of the level of additional power losses was conducted. Autoregressive equations for predicting the parameter of additional power losses at a certain probability level were derived. MATLAB graphic editor technologies and Excel software were used to visualize changes in the studied indicators. The results can be used by construction companies when designing the internal electrical network of individual households, as well as for researchers developing approaches to reducing additional losses of electrical energy.

Keywords: imbalance of power consumption, asymmetry and non-sinusoidal currents, power loss coefficient, balancing device, preventive assessment

For citation: Naumov I.V., Yamshchikova I.V. On fire risk reduction when operating individual households. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2): 326-339. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-326-339>. EDN: JQCROG.

ВВЕДЕНИЕ

Надежное и качественное электроснабжение индивидуальных домовладений (ИД) является неперенным условием обеспечения нормальной жизнедеятельности граждан. Использование в быту разнообразных новейших электроприемников (ЭП) с современной элементной базой и с многофункциональным назначением может существенно изменять общий режим функционирования всей внутренней трехфазной электрической сети зданий и сооружений. Следует отметить, что наиболее мощными ЭП, на долю которых приходится наибольшая часть электропотребления, являются те из них, которые выполняют функции электрообогрева помещений, горячего водоснабжения и приготовления пищи. На долю этой группы ЭП приходится более 70 % всей установленной мощности ИД. Остальные 30 %, имеющие небольшую установленную мощность, тем не менее играют немаловажную роль в жизнеобеспечении населения. При этом в опубликованных источниках неоднократно доказывалось, что несбалансированность электропотребления электроприемниками ИД может приводить к возникновению пожароопасных ситуаций [1–8].

При осуществлении внутренних электро-монтажных работ во вновь построенном ИД, не представляется возможным абсолютно равномерно распределить группы ЭП для

обеспечения симметричного электропотребления. Следовательно, после начала эксплуатации ИД и использования всех ЭП происходит значительное несимметричное электропотребление, обусловленное не только неравномерным характером распределения отдельных ЭП по трем фазам внутренней сети 0,4 кВ, но и случайным характером их коммутаций на протяжении суток [9–13]. Кроме того, в современных жилых помещениях очень много таких электроприемников, без которых обойтись невозможно – это зарядные устройства, телевизионные источники, персональные компьютеры и др. (бывает, что имеется несколько таких ЭП). Эти приемники создают эмиссию дополнительных симметричных составляющих совокупностей токов прямой (гармоники 4, 7, 10...40), обратной (гармоники 2, 5, 8...38) и нулевой (гармоники 3, 6, 9...39) последовательностей, которые искажают качество электроэнергии [14–20] и являются причиной возникновения дополнительных тепловых потерь мощности, вызывающих перегрев нулевого проводника, что приводит к расплавлению изоляции, возникновению однофазных коротких замыканий и соответствующему увеличению вероятности возгораний при неадекватной работе средств защиты.

Постоянно увеличивающемуся росту народонаселения планеты требуется постоянное увеличение жилищного строительства. Так, на

14:00 МСК¹ 07.01.2024 г. количество жителей планеты составило 8 149 613 490 чел. Для России – 146 144 944 чел., для Иркутской области – 2 391 193 чел.². По объему вводимого жилья по России Иркутская область занимает 65 место (Москва – 64). При этом объем введенного жилья на 07.01.2024 г. составил 809 тыс. м² (на конец 2022 г. эта цифра для г. Иркутска составляла 314,8 тыс. м²)^{3,4}. Следует отметить, что в Иркутской области отмечен значительный рост индивидуального жилья (ИЖ). Например, за первое полугодие 2021 г. объем ввода ИЖ вырос на 43,92 % по сравнению с аналогичным периодом 2020 г. [6]. По данным на 1 августа 2022 г. в регионе из 692 тыс. м² введенного жилья 72,7 % (503 тыс. м²) приходится на ИЖ⁵.

Ежегодная статистика возникновения пожаров показывает, что часть из них возникает в связи с нарушением правил установки и эксплуатации электрооборудования (НПУЭЭ) и занимает второе место после причины: «неосторожное обращение с огнем». Так, по предоставленным данным⁶ за 10 месяцев 2023 г. из 4497 пожаров в Иркутской области 1406 произошло именно по причине НПУЭЭ (31,3 %). По опубликованным данным [1–3] до 40 % всех возгораний по причине НПУЭЭ происходит именно вследствие коротких замыканий при чрезмерном перегреве нулевого проводника и нарушении его изоляционного покрытия. В [6–7] достаточно подробно описан механизм возникновения таких пожаров и техническое средство, позволяющее минимизировать дополнительные тепловые потери мощности, возникающие при несимметричных режимах. Вместе с этим, как было отмечено выше, в перечне современных коммунально-бытовых ЭП имеется большое количество тех, которые имеют нелинейную вольтамперную характеристику. Это приводит к эмиссионному воздействию высших гармонических составляющих токов, образующих дополнительные

группы прямой, обратной и нулевой последовательностей. Совместное взаимодействие этих дополнительных групп (особенно по нулевой последовательности) и потоков нулевой последовательности основной частоты напряжения электропитания приводит к существенному увеличению уровня тепловых потерь. Таким образом, целью предлагаемой статьи является исследование дополнительных потерь электрической энергии при осуществлении электропотребления в сети индивидуального жилища на основе реальных измерений и создания имитационной модели интеграции в эту электрическую сеть специализированного авторского технического средства для снижения тепловых потерь электрической энергии. Чтобы поставленная цель была достигнута, намечены следующие задачи:

- проанализировать реальное электропотребление в ИД и на основе произведенных измерений провести имитационное исследование интеграции разработанного балансирующего устройства (БУ), позволяющего балансировать режим работы сети и снижать тепловые потери во внутренней сети ИД;

- произвести превентивную оценку исследуемого критерия оценки дополнительных тепловых потерь мощности.

МЕТОДЫ

В основе алгоритмов предлагаемого исследования лежат методы теоретических основ электротехники, а также усовершенствованные методы определения симметричных составляющих токов и напряжений, разработанные отечественными и зарубежными учеными. В качестве базовой основы этих методов приняты исследования, представленные в опубликованных материалах⁷ Информационной базой для определения симметричных составляющих токов являются данные результатов измерений, произведенных на вводе в индивидуальный жилой дом. Также в ходе исследования

¹Счетчик населения Земли. Режим доступа: <https://countrymeters.info/ru/World> (дата обращения: 07.01.2024).

²Население Иркутской области на 01.01.2024 г. Режим доступа: <https://bdex.ru/naselenie/irkutskaya-oblast/> (дата обращения: 07.01.2024).

³Рейтинг городов России по объемам ввода жилья – 2023. Режим доступа: <https://riarating.ru/infografika/20230807/630246567.html?ysclid=lr3ec6iaik162414274> (дата обращения: 07.01.2024).

⁴Основные показатели жилищного строительства. Режим доступа: <https://xn--80az8a.xn--d1aqf.xn--p1ai/%D0...> (дата обращения: 07.01.2024).

⁵В России зафиксирован бум индивидуального жилищного строительства. Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo/expert.ru/s/2022/05/20/v-rossii-zafiksirovano-bum-individualnogo-zhilishchnogo-stroitelstva/> (дата обращения: 07.01.2024).

⁶Оперативная обстановка с пожарами в Иркутской области за 10 месяцев 2023 г. Режим доступа: <https://38.mchs.gov.ru/deyatelnost/napravleniya-deyatelnosti/nadzornaya-deyatelnost-i-profilakticheskaya-rabota/statisticheskie-dannye/operativnaya-informaciya-po-pozharam-za-5-mesyacev-2023-goda?ysclid=lr3f2k49e6724530361> (дата обращения: 07.01.2024).

⁷Наумов И.В. Метод и программа расчета потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в распределительной сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством // Мех. и электр. соц. сельск. хоз-ва. 1989. № 3. С. 30.

использовались общенаучные методы, позволяющие осуществить расчеты, визуализацию аналитическую оценку и прогнозирование исследуемых показателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка несбалансированности режима работы электрической сети, средства балансирования и инструментария расчета

Несбалансированность режима работы (НРР) внутренней электрической сети 0,4 кВ ИД обусловлена несимметрично-несинусоидальным электропотреблением, что приводит к увеличению тепловых потерь и созданию условий для возникновения пожаров.

Принятым критерием, характеризующим увеличение тепловых потерь, можно считать коэффициент небаланса мощности:

$$K_{UNB} = \frac{\Delta P_{UNB}}{\Delta P_{1(1)}} = 1 + K_{2i}^2 + K_{1AD.i}^2 + K_{2AD.i}^2 + K_R \cdot (K_{0i}^2 + K_{0AD.i}^2). \quad (1)$$

Коэффициенты, входящие в выражение (1) представляют собой отношение дополнительных групп токов по прямой, обратной и нулевой последовательности к току основной частоты. При этом значения токов I_1 , I_2 и I_0 определяются в соответствии с [21]:

$$\begin{aligned} I_1 &= \left(\frac{1}{6 \cdot I_U} \right) \cdot \{ [3 \cdot I_U^2 - I_U \cdot (d + \sqrt{3} \cdot g) + 2 \cdot \sqrt{3} \cdot g] + \\ &+ j \cdot [\sqrt{3} \cdot I_U^2 - I_U \cdot (\sqrt{3} \cdot d - e) - 2 \cdot \sqrt{3} \cdot h] \}; \\ I_2 &= \left(\frac{1}{6 \cdot I_U} \right) \cdot \{ [3 \cdot I_U^2 - I_U \cdot (\sqrt{3} \cdot e - d) - 2 \cdot \sqrt{3} \cdot g] - \\ &- j \cdot [\sqrt{3} \cdot I_U^2 - I_U \cdot (\sqrt{3} \cdot d + e) - 2 \cdot \sqrt{3} \cdot h] \}; \\ I_0 &= \frac{1}{3} \cdot (d - j \cdot e). \end{aligned} \quad (2)$$

В выражениях (2) значения g , e , d и h подробно представлены в [4]. Кроме того, для реальной оценки последствий НРР необходимо определить потери активной мощности в исследуемой электрической сети:

$$\Delta P_{LINE} = l \cdot [r_{0PH} \cdot (I_U^2 + I_W^2 + I_V^2) + r_{0N} \cdot I_N^2]. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) I_U , I_W и I_V – токи в фазах «U», «W» и «V»; r_{0PH} и r_{0N} – соответственно удельные активные сопротивления фазного и нулевого проводников трехфазной внутренней сети ИД. В качестве специализированных технических средств, минимизирующих последствия НРР, ранее разными авторами предлагались различные технические средства – симметрирующие устройства (СУ) [22–27].

Эти устройства снижают либо несимметричные, либо несинусоидальные режимы и отличаются неизменностью параметров, предлагаемых СУ, или же имеют регулируемые

параметры и достаточно сложную систему автоматического управления. Для объединенных несбалансированных режимов предлагается использовать комбинированное балансирующее устройство (БУ), представляющее собой компиляцию нескольких элементов (рис. 1) [28].

Одним из них является электромагнитное шунто-симметрирующее устройство, образующее колебательный контур для всех потоков нулевой последовательности, включая гармоники токов кратных трем (триплен-гармоники).

На рис. 2 представлен фильтр токов обратной последовательности (ФТОП), отбирающий на себя совокупности гармоник обратной последовательности. При включении трансформатора TLA на разность токов I_w и I_u , а трансреактора TLV на разность I_v и I_w , образуется фильтр токов прямой последовательности (ФТПП), обеспечивающий выборку группы дополнительной прямой последовательности.

К зажимам ФТПП и ФТОП присоединяются узкополосные резонансные фильтры (УРФ), создающие колебательные контуры для дополнительных групп прямой и обратной последовательностей. Кроме того, еще одним элементом (рис. 1, 3) устройства является комплект конденсаторных батарей, которые в функции коэффициента реактивной мощности могут ступенчато подключать необходимую мощность батареи конденсаторов с целью компенсации части реактивной мощности для снижения активных потерь. При расчетном коэффициенте реактивной мощности, равном или меньшим установленному, экономически обоснованному $tg\varphi$ для данного класса номинального напряжения, блок конденсаторов не подключается. Схема и принцип действия данного балансирующего устройства подробно описаны в [29]. Наибольшей эффективностью БУ обладает при его подключении в ближайший к шинам 0,4 кВ силового трансформатора узел отбора мощности [4, 8]. В нашем случае таким узлом являются главное распределительное устройство (ГРУ) ИД. После подключения ВД тепловые потери будут определяться, как:

$$\Delta P_{LINE}^{BD} = \Delta P_{LINE} \cdot \frac{K_{UNB}^{BD}}{K_{UNB}}, \quad (4)$$

где K_{UNB} – коэффициент, характеризующий потери мощности до включения БУ, который может быть в соответствии с (1); K_{UNB}^{BD} – коэффициент потерь мощности после включения БУ, определяемый, как и все остальные показатели, характеризующие несбалансированный режим работы сети, в соответствии с методом, подробно представленном в [21].

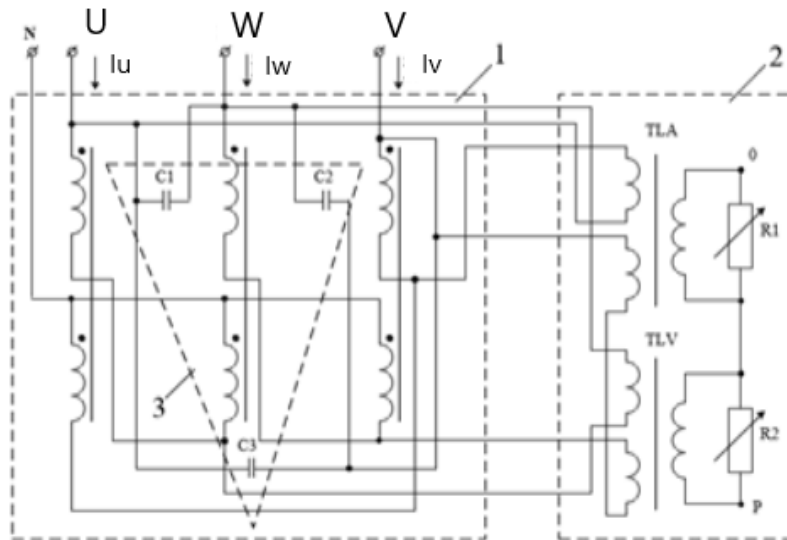


Рис. 1. Балансирующее устройство: 1 – электромагнитное устройство; 2 – фильтр токов обратной последовательности; 3 – блок конденсаторов
Fig. 1. Balancing device: 1 – electromagnetic device; 2 – reverse current filter; 3 – capacitor block

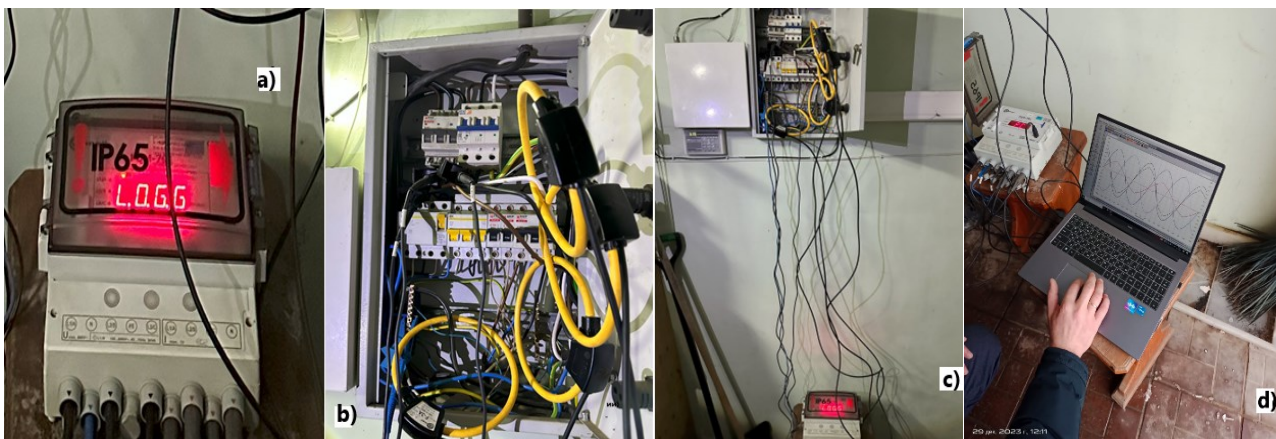


Рис. 2. Прибор IP 65 для измерения параметров качества электрической энергии и его подключение к исследуемой внутренней электрической сети 0,4 кВ ИД
Fig. 2. An IP65 device for measuring electrical power quality parameters and its connection to the studied internal electrical 0.4 kV network of the IH

В качестве инструментария расчетов всех вышеперечисленных режимов используется программное обеспечение, получившее государственную регистрацию⁸. Программа написана на объектно-ориентированном языке программирования C Sharp (C#) и позволяет производить расчет несбалансированных режимов как при отсутствии технического БУ, так и имитировать его интеграцию в любой точке исследуемой электрической сети. Текстовый файл с

данными содержит информацию по изменению следующих параметров сети: каталожные данные силового трансформатора, фазные и междофазные напряжения, фазные токи, коэффициенты несинусоидальности токов и напряжений до 40-й гармоники, углы сдвига фаз между этими токами и напряжениями, а также полные комплексные сопротивления элементов электрической сети. Снятие показаний необходимых параметров производилось сертифици-

⁸Наумов И.В., Подъячих С.В., Ермолаев Д.С. «Unbalance-4» Программа по расчету несбалансированных режимов работы в эл. сетях 0,4 кВ // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: RU2023686894 от 11.12.2023. Бюл. № 12.

цированным анализатором параметров качества электрооборудования: PQM – 711⁹ в течение одной недели.

Измерение и расчеты

Исследования производились в течение двух суток: с 12:00 29.12.2023 по 11:50 31.12.2023. Все исследуемые показатели фиксировались на жестком диске прибора и усреднялись в течение 2880 десятиминутных промежутков. От ГРУ, к которому подключался прибор, протяженность трехфазных четырехпроводных ответвлений составила около 150 м.

Основная, наиболее мощная электрическая нагрузка ИД представлена следующими электроприемниками: холодильники, электрические обогревательные панели – 7 шт.,

стиральная машина – 1 шт., посудомоечные машины – 2 шт., электрические полотенцесушители – 2 шт., телевизоры – 5 шт., персональные компьютеры – 4 шт., электрическая плита – 2 шт., полы с электрическим обогревом 60 м², электрическая сауна – 6 кВт, электрические чайники – 2 шт., а также система электрического освещения и розеточная группа для подключения несистематических ЭП.

Общая площадь жилых помещений дома составляет немногим более 200 м². Проживает две семьи в количестве шести человек: четверо взрослых и двое детей.

Рис. 3 иллюстрирует изменение групп симметричных составляющих за период наблюдения.

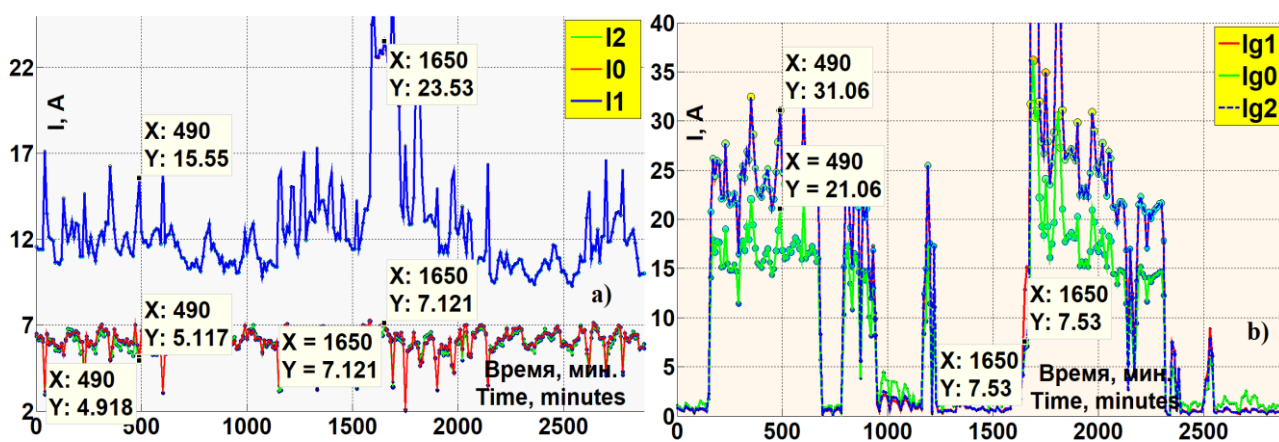


Рис. 3. Динамика изменения симметричных составляющих: а) основной частоты; б) высших гармонических составляющих
Fig. 3. Dynamics of changes in symmetrical components: a) fundamental frequency; б) higher harmonic components

Анализ полученных диаграмм позволил установить, что уровень небаланса фазных токов проявляется в достаточно высоких значениях совокупностей симметричных составляющих (рис. 3а).

Ток прямой последовательности (I1) составил 12,64 А, токи обратной и нулевой последовательностей (I2 и I0), соответственно, 46,8 % (5,92 А) и 47,9 % (6,05 А) тока I1¹⁰.

Дополнительные совокупности токов прямой, обратной и нулевой последовательностей, обусловленные эмиссией высших гармонических составляющих, в основном периоде измерений составили 94,9 % (11,96 А), 95 % (11,99 А) и 69 % (8,72 А) от тока (I1). Режим

работы исследуемой сети существенно не сбалансирован. Следовательно, будут увеличиваться и значимые исследуемые показатели (коэффициент небаланса и потери активной мощности).

На рис. 4 представлены диаграммы изменения исследуемых величин до подключения БУ, а также при имитационном моделировании подключения БУ в исследуемой сети.

Анализ рис. 4 показывает, что при отсутствии БУ в электрической сети усредненное значение коэффициента потерь (Кр) составило 21,42.

Это означает, что дополнительные потери тепловой энергии более чем в 20 раз

⁹Декларация соответствия принята на основании протокола испытания № 3/2014 от 25.08.2014 испытательной лаборатории SONEL S.A. № MDE SONEL 1601 FC от 17.10.2017 испытательной лаборатории 7 layers GmbH; № LIKE/074/2016 от 18.04.17; LIKE/015/2018 от 16.02.18 испытательной лаборатории LIKE Вроцлавского университета науки и техники; паспорта и руководства по эксплуатации.

¹⁰Здесь и далее значение показателя соответствует его среднему значению в десятиминутном промежутке измерений, усредненному за 289 10-минутных промежутков.

превышают аналогичные потери при режиме работы сети с полностью сбалансированным электропотреблением (идеальный, теоретический вариант, при котором составляющие I_2 , I_0 , I_{g1} , I_{g2} и I_{g0} будут равны нулю и коэффициент потерь равен 1). При включении БУ среднее значение коэффициента потерь становится равным 1,22. То есть эффективность балансирования составляет 94,3 %. Аналогично этому при включении БУ происходит снижение

потерь активной (тепловой) мощности в усредненном десятиминутном интервале времени измерения: с 0,45 кВт до 0,043 кВт (эффективность балансирования 90,5 %).

Таким образом, применение предлагаемого технического средства позволяет снизить дополнительные тепловые потери более чем на 90 % и тем самым в значительной степени уменьшить вероятность возникновения пожароопасных ситуаций.

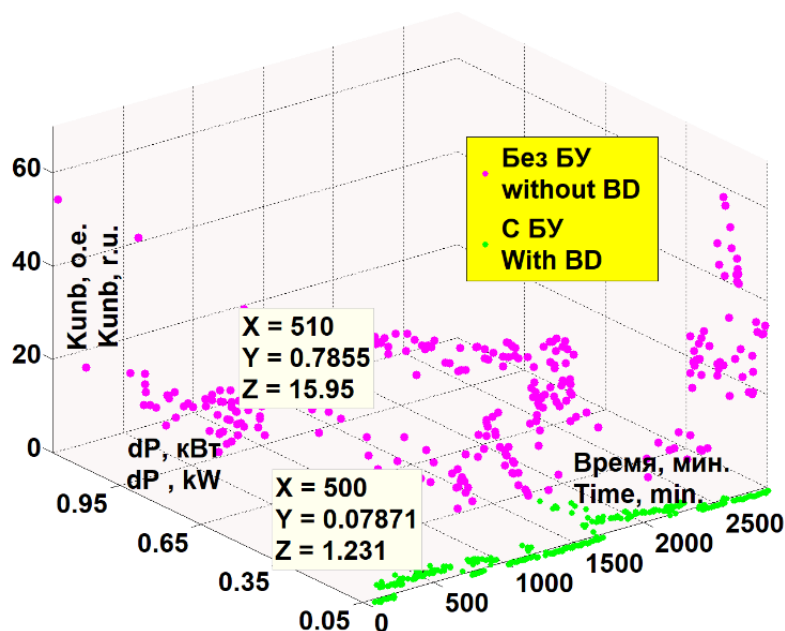


Рис. 4. Динамика изменения исследуемых показателей до и после подключения балансирующего устройства

Fig. 4. Dynamics of changes in the studied indicators before and after connecting the balancing device

Прогнозирование дополнительных тепловых потерь

Превентивная оценка критерия тепловых потерь (коэффициента потерь – K_{UNB}) необходима для предсказания с определенной вероятностью развития несбалансированного электропотребления, что позволит оценить возможный уровень опасности возникновения пожароопасных ситуаций.

В качестве исследуемого показателя рассмотрим изменение коэффициента K_{UNB} для которого используем массив данных, полученных при измерениях и расчетах.

Известно, что детерминированные расчеты исследуемых величин при прогнозировании электроэнергетических показателей могут быть основаны на использовании их средних значений¹¹. Общее количество массива данных соответствует 289 значениям показателя,

рассчитанного и усредненного в 289 10-минутных промежутках.

Получение данных прогностической оценки изменения K_{UNB} может быть достаточно адекватным при условии неизменности режима электропотребления во внутренней электрической сети.

В основе прогнозирования электроэнергетических показателей лежат, как правило, статистические и интеллектуальные методы. Рассмотрим возможность получения прогнозных значений исследуемого показателя этими двумя методами.

На первоначальном этапе, используя технологию Excel, определялся коэффициент автокорреляции для исходного массива данных. Полученное значение коэффициента автокорреляции составило 0,81. Таким образом, внутрирядная связь массива данных для этого

¹¹Трофимова Е.А., Кисляк Н. В., Гилев Д.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. ун-т, 2018. 160 с.

показателя достаточно высокая. Рассмотрим возможность использования двух методов прогнозирования: регрессионного анализа и возможностей искусственных нейронных сетей (ИНС) на основе использования технологии

Matlab. Перрессионный анализ [30] производился с использованием возможностей программной оболочки Excel. В результате была получена авторегрессионная модель и уравнение тренда для коэффициента потерь (рис. 5).

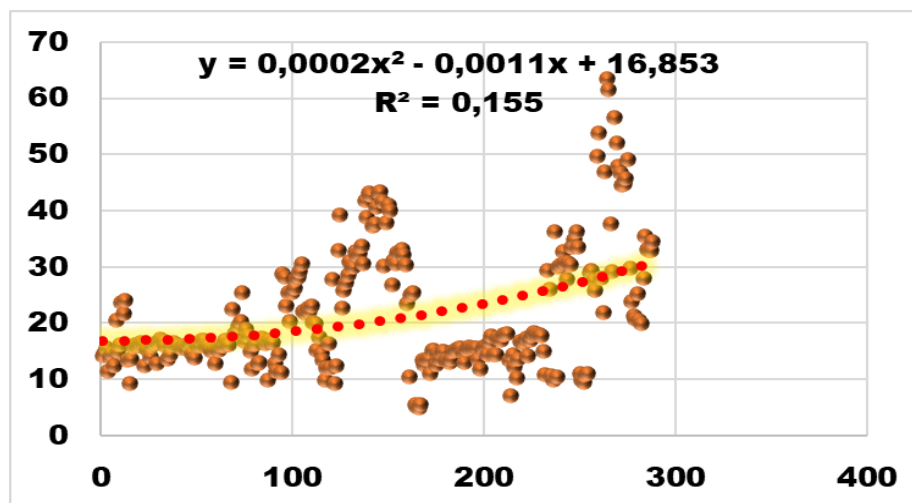


Рис. 5. Авторегрессионная модель и уравнение тренда для коэффициента потерь мощности (K_{UNB})

Fig. 5. The autoregressive model and the trend equation for the power loss coefficient (K_{UNB})

Для получения прогнозного значения коэффициента K_{UNB} необходимо в полученное уравнение тренда полиномиальной авторегрессионной модели вместо «х» вставить последнее значение ряда массива данных (34,52).

В результате получаем значение 17,05. Сравнивая это число со средним значением коэффициента по всему массиву предварительных данных (21,42) можно увидеть, что прогнозное значение практически на 20 % меньше реального усредненного значения. И это неудивительно, поскольку значение коэффициента детерминации в уравнении тренда $R^2 = 0,155$. Это означает, что наступление прогнозного значения возможно лишь с вероятностью 15,5 %.

Прогнозирование с использованием ИНС

В качестве инструментария использования ИНС для превентивной оценки дополнительных потерь выбрана среда технологий Matlab, как наиболее часто применяемый инструментарий для осуществления кратко- и среднесрочных прогнозов энергетических параметров [30–33].

В качестве среды обучения ИНС принят инструмент Time Series Tool и нелинейная авторегрессия (NAR), благодаря которым реализуется нейронная сеть прямого распространения, использование которой позволяет

предсказать значение результативного признака с учетом предыдущих значений с некоторым сдвигом d [31].

В используемой выборке массива данных из 289 значений показателя исследуемого ряда, путем случайного перебора данных было проверено семь вариантов соотношений: обучение–утверждение–тестирование (70-15-15; 85-5-10; 90-5-5; 80-10-10; 75-15-10; 85-10-5; 75-10-15). Рис. 6а иллюстрирует один из рассмотренных вариантов. Для каждого из интервалов рассматривалось использование нескольких вариантов сочетаний количества нейронов и задержек (рис. 6б). На представленном варианте при обучении ИНС наиболее приближенное прогнозное значение к усредненному (21,42) составило 21,52 (рис. 6с). Превышение прогнозного значения K_{UNB} над его усредненной величиной массива данных составило всего 0,5 %. Следовательно, полученное прогнозное значение показателя указало, что при неизменном электропотреблении во внутренней электрической сети ИД в 19:30 каждых суток коэффициент K_{UNB} , характеризующий превышение потерь в реальном несбалансированном режиме работы сети над аналогичными потерями в условно сбалансированном режиме, будет иметь указанное значение с вероятностью 0,91 (рис. 6д).

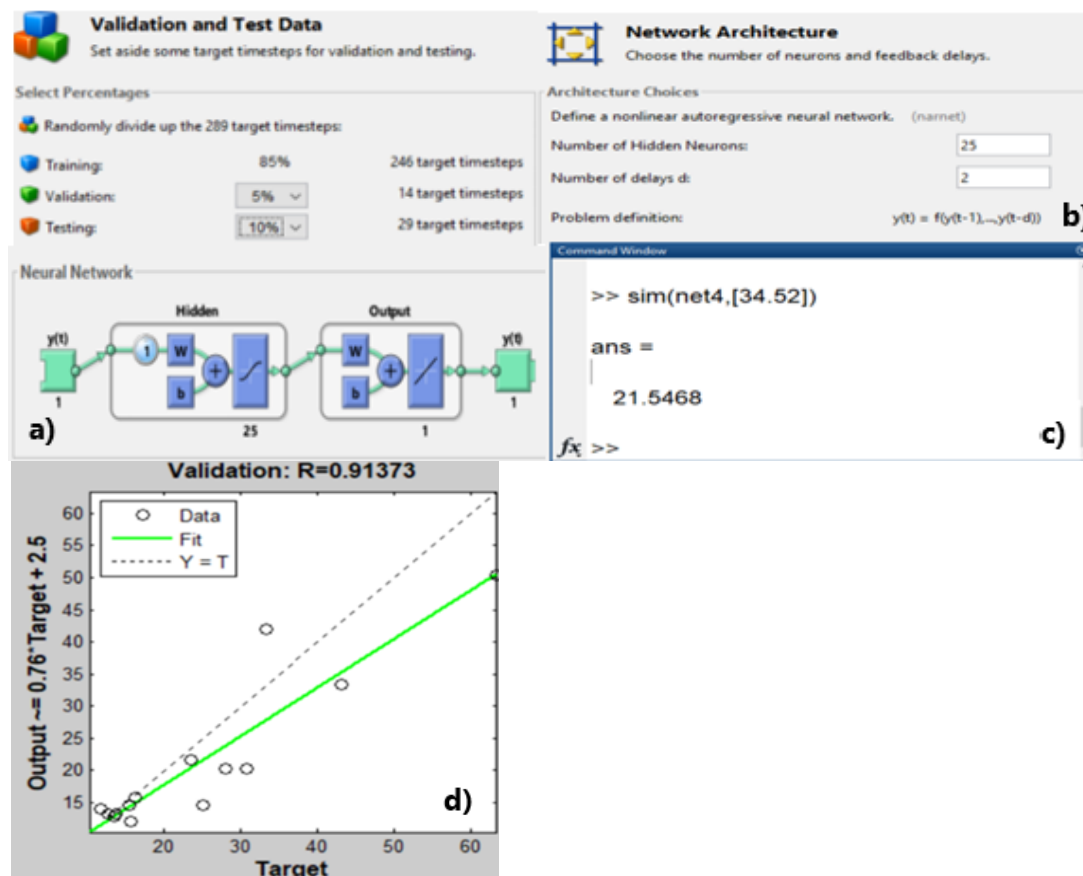


Рис. 6. Архитектура искусственных нейронных сетей при прогнозировании K_{UNB} : а) вариант тестирования; б) вариант сочетания нейронов и задержек; в) ответ; д) вероятность утверждения

Fig. 6. The architecture of artificial neural networks in predicting K_{UNB} : a) testing option; б) combination of neurons and delays; в) answer; д) probability of approval

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Возрастание уровня индивидуального жилищного строительства в Иркутской области требует разработки мероприятий, предотвращающих возникновение чрезвычайных ситуаций, связанных с возрастающей пожароопасностью во внутренних электрических сетях индивидуальных домовладений.

2. Использование современных электроприемников для удовлетворения бытовых потребностей населения связано с возникновением дополнительной токовой нагрузки, вызывающей несбалансированность электропот-

ребления и увеличение тепловых потерь во внутренних электрических сетях.

3. Наибольшей эффективностью балансирования режима работы исследуемой электрической сети может обладать предлагаемое авторское устройство балансировки режима работы сети, позволяющее значительно (более чем на 90 %) снизить дополнительную тепловую нагрузку и уменьшить вероятность возникновения пожаров.

4. Произведена превентивная оценка показателя, характеризующего несбалансированность электропотребления в сети индивидуальных домовладений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Naumov I.V., Savina N.V., Yamshchikova I.V., Shevchenko M.V. Methods for Fire Risk Reduction in Residential Premises with The Help of Balancing Devices // IPASJ International Journal of Electrical Engineering. 2017. Vol. 5. Iss. 5. P. 10–16. EDN: XGTBUB.
2. Naumov I.V. An Analysis of Fires Due to Violation of the Rules for Design and Operation of Electrical Plants, and How to Prevent them in Residential Buildings (on the Example of the Amur Region) // 2019 International

- Science and Technology Conference "EastConf". 2019. P. 1–15. <http://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725407>. EDN: CWDAAU.
3. Наумов И.В., Карамов Д.Н. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении // Надежность и безопасность энергетики. 2021. Т. 14. № 1. С. 69–76. <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>. EDN: IGMUW.
4. Наумов И.В. Симметрирование режимов работы внутренних электрических трехфазных сетей, как средства снижения пожарной опасности // Актуальные вопросы аграрной науки. 2021. № 38. С. 19–26. EDN: TILWXT.
5. 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>. EDN: IOPTBX.
6. 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>. EDN: HFQWXY.
7. Наумов И.В. О выборе допустимых сечений проводникового материала внутренних электрических сетей при строительстве индивидуальных домовладений // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 4. С. 589–599. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-589-599>. EDN: RDNJOG.
8. Naumov I.V., Podyachikh S.V., Yakupova M.A. and Fedorinova E.S. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. P. 1–12. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>. EDN: NUKSBQ.
9. Абдиева З.Э., Назаров Б.Б. Причины возникновения несимметричных режимов в электрических сетях 0,38 кВ // Наука и инновационные технологии. 2017. № 1 (3). С. 64–67. EDN: YMGZTU.
10. Lumberras D., Gálvez E., Collado A., Zaragoza J. Trends in Power Quality, Harmonic Mitigation and Standards for Light and Heavy Industries: A Review // Energies. 2020. Vol. 13. Iss. 21. P. 1–24. <https://doi.org/10.3390/en13215792>.
11. Оськин С.В., Макаренко А.С., Дидыч В.А., Моргун С.В., Моргун С.М. Результаты анализа качества и безопасности электроэнергии на производственном объекте // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2017. № 4 (32). С. 149–155. EDN: RYSQBE.
12. Коновалов Ю.В., Воробьев И.И. Анализ качества электроэнергии на предприятии // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. № 8. С. 57–60. EDN: TAVLDP.
13. Костюков Д.А. Оценка вклада потребителя в несимметрию напряжения вдоль нулевой последовательности в точке общего подключения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2018. № 6 (69). С. 24–34. <https://doi.org/10.37493/2307-907X-2018-69-6-24-34>. EDN: YWPRNJ.
14. Килин С.В., Вендин С.В. Анализ несинусоидальности и несимметрии в электрических сетях 0,4-10 кВ // Проблемы электрификации сельского хозяйства: сб. науч. трудов по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Ярославль, 15 ноября 2017 г.). Ярославль, 2018. С. 15–21. EDN: XNIJZJ.
15. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Santoso S., Beaty H.W. Electrical Power Systems Quality. New-York: McGraw-Hill Professional, 2012. 576 p.
16. Ahmed I.A., Zobaa A.F., Taylor G.A. Power Quality Issues of 3MW Direct-Driven PMSG Wind Turbine // 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2015. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2015.7339760>.
17. Гольдштейн В.Г., Сливкин В.Г. Анализ электромагнитной совместимости низковольтных электроприемников с несимметричными режимами работы высоковольтных электрических сетей // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: физико-математические науки. 2002. № 16. С. 205–208. EDN: EBNEPZ.
18. Жилин М.И., Воркунов О.В. Повышение качества электрической энергии // Приоритетные направления развития науки. Сб. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х частях (г. Москва, 07 июня 2017 г.). М., 2017. С. 83–85. EDN: ZEZYER.
19. Neufeld O., Tancogne-Dejean N., Rubio A. Comment on "Origin of Symmetry-Forbidden High-Order Harmonic Generation in the Time-Dependent Kohn-Sham Formulation" // Physical Review. 2022. Vol. 105. Iss. 4. P. 1–4. <http://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.047101>.
20. Hadarig A.I., Vázquez C., Fernández M., Ver Hoeye S., Hotopan G.R., Cambor R. [et al.] Experimental Analysis of the High-Order Harmonic Components Generation in Few-Layer Graphene // Applied Physics A. 2018. Vol. 118. P. 83–89. <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8739-y>.
21. Косоухов Ф.Д., Наумов И.В. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях / Монография, Иркутск, Издательство "ИДП", 2003. – 259С.

22. Наумов И.В., Федоринова Э.С., Якупова М.А. Минимизация последствий искажения качества электрической энергии при несимметрично-несинусоидальном электропотреблении // Промышленная энергетика. 2023. № 3. С. 52–61. <https://doi.org/10.34831/EP.2023.56.49.007>. EDN: YQTRAK.
23. Пат. № 982146, СССР, H02J 3/26. Симметрирующее устройство для трехфазной четырехпроводной электрической сети / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов, И.В. Мостовяк, А.В. Самков; заявитель и патентообладатель Институт электродинамики АН Украинской ССР. Заявл. 09.04.1981; опубл. 15.12.1982. Бюл. № 46.
24. Пат. № 188396, Российская Федерация, H02J 3/28, H02J 9/06. Устройство симметрирования напряжения в высоковольтных сетях / В.В. Буренин, Н.П. Кириллов, В.И. Полянский, С.Н. Слепов, А.Н. Сова, А.В. Филимонов; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Корпорация «Стратегические пункты управления»» АО «Корпорация «СПУ – ЦКБ ТМ»». Заявл. 05.03.2019; опубл. 11.04.2019.
25. Пат. № 61063, Российская Федерация, H02J3/26. Симметрирующее устройство для трехфазной четырехпроводной сети с регулируемыми параметрами / Д.А. Иванов, И.В. Наумов, Д.А. Шпак, А.А. Матвеев, С.В. Подъячих, С.В. Сукьясов; заявитель и патентообладатель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования. Заявл. 03.04.2006; опубл. 10.02.2007. Бюл. № 4.
26. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
27. Коверникова Л.И. Централизованное снижение уровня высших гармоник в сети с нелинейными нагрузками с помощью пассивных фильтров // Электричество. 2010. № 9. С. 50–55. EDN: MUGWJZ/
28. Пат. № 2811981, Российская Федерация, H02J 3/26. Универсальное балансирующее устройство для четырехпроводных электрических сетей / Наумов И.В., Подъячих С.В., Карамов Д.Н., Ермолаев Д.С.; заявитель и патентообладатель Иркутский государственный аграрный университет. опубл. 22.01.2024.
29. Наумов И.В. Устройство для снижения потерь в электрических сетях с нелинейно-несимметричной нагрузкой // Электричество. 2023. № 6. С. 57–66. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2023-6-57-66>. EDN: FJYVCA.
30. Лебедев Ю.А., Летягина Е.Н., Рузанов А.И., Сидоренко Ю.А. Регрессионный анализ энергопотребления в промышленных регионах // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2014. № 3 (35). С. 29–32. EDN: SWEOYR.
31. Клычев В.Е. Применение нелинейных авторегрессионных моделей нейронных сетей для прогнозирования экономических показателей // Ученые записки Тамбовского отделения РОСМУ. 2016. № 5. С. 133–136. EDN: VEIKZV.
32. Щербатов И.А. Применение искусственных нейронных сетей при управлении энергетическим оборудованием. Часть 2. Прогнозирование значений параметров, дефектов, отказов и технического состояния // Новое в Российской электроэнергетике. 2020. № 10. С. 37–46. EDN: INEWCY.
33. Бильгаева Л.П., Власов К.Г. Исследование моделей нейросетевого прогнозирования в среде Matlab // Приложение математики в экономических и технических исследованиях. 2017. № 1 (7). С. 11–19. EDN: YTAXKX.

REFERENCES

1. Naumov I.V., Savina N.V., Yamshchikova I.V., Shevchenko M.V. Methods for Fire Risk Reduction in Residential Premises with The Help of Balancing Devices. *IPASJ International Journal of Electrical Engineering*. 2017;5(5):10-16. EDN: XGTBUB.
2. Naumov I.V. An Analysis of Fires Due to Violation of the Rules for Design and Operation of Electrical Plants, and How to Prevent them in Residential Buildings (on the Example of the Amur Region) // *2019 International Science and Technology Conference "EastConf"*. 2019:1-15. <http://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725407>. EDN: CWDAAU.
3. Naumov I.V., Karamov D.A. On The Issue of Occurrence of Fire-Hazardous Situations with Unbalanced Power Consumption. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry*. 2021;14(1):69-76. (In Russ.). <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>. EDN: IGMUW.
4. Naumov I.V. Symmetrization of Operating Modes of Internal Three-Phase Electric Networks as A Means of Reducing Fire Hazard. *Aktual'nye voprosy agrarnoi nauki = Actual issues of agrarian science*. 2021;38:19-26. (In Russ.). EDN: TILWTX.
5. Naumov I.V., Bastron A.V. Unbalancing Modes Investigation of the Operation Internal Individual Residential Buildings Electrical Networks in Rural Areas. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*. 2022;6(133):44-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-6-44-58>. EDN: IOPTBX.
6. 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>. EDN: HFWQXY.

7. Naumov I. V. On The Choice of Allowable Cross-Sections of Conductor Material in Internal Electrical Networks When Building Individual Households. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(4):589-599. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-4-589-599>. EDN: RDNJOG.
8. Naumov I.V., Podyachikh S.V., Yakupova M.A. and Fedorinova E.S. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1-12. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012145>. EDN: NUKSBQ.
9. Abdieva Z.E., Nazarov B.B. Causes of Non-Symmetric Regimes Electrical Networks 0.38kV. *Nauka i innovatsionnye tekhnologii = Science and Innovative Technologies*. 2017;1(3):64-67. (In Russ.). EDN: YMGZTU.
10. Lumberras D., Gálvez E., Collado A., Zaragoza J. Trends in Power Quality, Harmonic Mitigation and Standards for Light and Heavy Industries: A Review. *Energies*. 2020;13(21):1-24. <https://doi.org/10.3390/en13215792>.
11. Os'kin S.V., Makarenko A.S., Didych V.A., Morgun S.V., Morgun S.M. Results of Analysis of the Quality and Safety of Electricity at A Production Facility. *Chrezvychainye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost' = Emergency Situations: Industrial and Environmental Safety*. 2017;4(32):149-155. (In Russ.). EDN: RYSQBE.
12. Konovalov Y.V., Vorobyov I.I. Energy Consumption Quality Analysis for Enterprise. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoi tekhnicheskoi akademii = Bulletin of The Angarsk State Technical University*. 2014;8:57-60. (In Russ.). EDN: TAVLDP.
13. Kostyukov D.A. Assessment of Consumer Impact On Voltage Asymmetry by The Zero Sequence at The Point of Common Connection. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta = Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2018;6(69):24-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X-2018-69-6-24-34>. EDN: YWPRNJ.
14. Kilin S.V., Vendin S.V. Analysis of Non-Sinusoidal and Unbalance in Electrical Networks 0,4-10kV. In: *Problemy elektrifikatsii sel'skogo khozyaistva: sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Problems of Electrification of Agriculture: A Collection of Scientific Papers Based on Materials from The All-Russian Scientific and Practical Conference*. 15 November 2017, Yaroslavl. Yaroslavl; 2018. P. 15-21. (In Russ.). EDN: XNIJZJ.
15. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Santoso S., Beaty H.W. *Electrical Power Systems Quality*. New-York: McGraw- Hill Professional, 2012. 576 p.
16. Ahmed I.A., Zobaa A.F., Taylor G.A. Power Quality Issues of 3MW Direct-Driven PMSG Wind Turbine. *50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*. 2015:1-6. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2015.7339760>.
17. Gol'dshtein V.G., Slivkin V.G. Analysis of Electromagnetic Compatibility of Low-Voltage Electrical Receivers with Asymmetrical Operating Modes of High-Voltage Electrical Networks. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: fiziko-matematicheskie nauki = Journal of Samara State Technical University, Ser. Physical and Mathematical Sciences*. 2002;16:205-208. (In Russ.). EDN: EBNEPZ.
18. Zhilin M.I., Vorkunov O.V. Improving The Quality of Electrical Energy. In: *Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki. Sbornik statei po materialam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. V 2-kh chastyakh = Priority Directions for The Development of Science. Collection of Articles Based On Materials from The International Scientific and Practical Conference. In 2 Parts*. 07June 2017, Moscow. Moscow; 2017, Part 2, P. 83-85. (In Russ.). EDN: ZEZYER.
19. Neufeld O., Tancogne-Dejean N., Rubio A. Comment on "Origin of Symmetry-Forbidden High-Order Harmonic Generation in the Time-Dependent Kohn-Sham Formulation". *Physical Review*. 2022;105(4):1-4. <http://doi.org/10.1103/PhysRevA.105.047101>.
20. Hadarig A.I., Vázquez C., Fernández M., Ver Hoeye S., Hotopan G.R., Cambor R. [et al.] Experimental Analysis of the High-Order Harmonic Components Generation in Few-Layer Graphene. *Applied Physics A*. 2018;118:83-89. <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8739-y>.
21. Kosoukhov F.D., Naumov I.V. Asymmetry of voltages and currents in rural distribution networks / Monograph, Irkutsk, Publishing House "IDP", 2003. – 259 p.
22. Naumov I.V., Fedorinova E.S., Yakupova M.A. Minimization of the Consequences of Power Quality Distortion in Case of Asymmetric-Non-Sinusoidal Power Consumption. *Promyshlennaya energetika = Industrial Power Engineering*. 2023;3:52-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.34831/EP.2023.56.49.007>. EDN: YQTRAK.
23. Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G., Mostoviyak I.V., Samkov A.V. Balancing Device for A Three-Phase Four-Wire Electrical Network. Patent USSR, no. 982146; 1981. (In Russ.).
24. Burenin V.V., Kirillov N.P., Polyanskii V.I., Slepov S.N., Sova A.N., Filimonov A.V. *Voltage Balancing Device in High-Voltage Networks*. Patent RF, no. 188396; 2019. (In Russ.).

25. Ivanov D.A., Naumov I.V., Shpak D.A., Matveenko A.A., Pod'yachikh S.V., Suk'yasov S.V. *Balancing Device for A Three-Phase Four-Wire Network with Adjustable Parameters*. Patent RF, no. 61063; 2006. (In Russ.).
26. Zhezhelenko I.V. *Higher Harmonics in Power Supply Systems of Industrial Enterprises*. Moscow: Energoatomizdat, 2000. 331 p.
27. Kovernikova L.I. Centralized Reduction of The Level of Higher Harmonics in A Network with Nonlinear Loads Using Passive Filters. *Elektrichestvo = Electricity*. 2010;9:50-55. (In Russ.). EDN: MUGWJZ.
28. Naumov I.V., Podyachikh S.V., Karamov D.N., Ermolaev D. S. *Universal balancing device for four-wire electrical networks*. Patent RF, no. 2811981; 2024. (In Russ.).
29. Naumov I.V. A Device for Decreasing Loss in Electric Networks Containing Unbalanced Nonlinear Load. *Elektrichestvo = Electricity*. 2023;6:57-66. (In Russ.). <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2023-6-57-66>. EDN: FJYVCA.
30. Lebedev Yu.A., Letyagina E.N., Ruzanov A.I., Sidorenko Yu.A. Regression Analysis of Energy Consumption in Industrial Regions. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Sotsial'nye nauki = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. Series: Social Sciences*. 2014;3(35): 29-32. (In Russ.). EDN: SWEQYR.
31. Klychev V.E. Application of Nonlinear Autoregressive Neural Network Models for Forecasting of Economic Indicators. *Uchenye zapiski Tambovskogo otdeleniya ROSMU = Scientific Notes of The Tambov Branch of ROSMU*. 2016;5:133-136. (In Russ.). EDN: VEIKZV.
32. Shcherbatov I.A. Application of Artificial Neural Networks in the Control of Energy Equipment. Part 2. Prediction of Parameter Values, Defects, Failures and Technical Condition. *Novoe v Rossiiskoi elektroenergetike = New in Russian Electrical Power-Engineering*. 2020;10:37-46. (In Russ.). EDN: INEWCY.
33. Bilgaeva L.P., Vlasov K.G. The Study of Models of Neural Network Forecasting in Matlab. *Prilozhenie matematiki v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh issledovaniyakh = Application of Mathematics in Economic and Technical Research*. 2017;1(7):11-19. (In Russ.). EDN: YTAXKX.

Информация об авторах**Наумов Игорь Владимирович,**

д.т.н., профессор,
профессор кафедры электроснабжения
и электротехники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
Иркутский государственный аграрный
университет им. А. А. Ежевского,
664038, Иркутский р-н,
пос. Молодежный, 1/1, Россия
e-mail: professorsnaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>
Author ID: 852584

Ямщикова Ирина Валентиновна,

к.э.н., доцент кафедры экспертизы
и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664038, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉e-mail: yamsirina@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6183-3255>
Author ID: 768707

Вклад авторов

Наумов И.В. произвел исследование,
подготовил статью к публикации и несет
ответственность за плагиат.

Information about the authors**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 664038,
Russia,
e-mail: professorsnaumov@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4767-0127>
Author ID: 852584

Irina V. Yamshchikova,

Cand. Sci. (Econ),
Associate Professor of the Department
of Real Estate Expertise and Management,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: yamsirina@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6183-3255>
Author ID: 768707

Contribution of the authors

I.V. Naumov conducted the research, prepared
the article for publication and is responsible for
plagiarism.

Ямщикова И.В. осуществляла иллюстративное сопровождение материала и произвела оформление статьи по требованиям журнала

I.V. Yamshchikova provided illustrative support for the material and designed the article according to the requirements of the journal

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 29.03.2024.
Одобрена после рецензирования 16.04.2024.
Принята к публикации 17.04.2024.

Information about the article

The article was submitted 29.03.2024.
Approved after reviewing 16.04.2024.
Accepted for publication 17.04.2024.