

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>

УДК 621.311

К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении

Наумов И. В.^{1,2*}, Карамов Д. Н.^{1,3}

¹ ФГБОУ «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

ул. Лермонтова 83, 664074, г. Иркутск, Россия

² ФГБОУ «Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского»

пос. Молодежный 1/1, 664038, г. Иркутск, Россия

³ ФГБ «Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН»

ул. Лермонтова 130, 664058, г. Иркутск, Россия

Поступила / Received 06.12.2020.

Принята к печати / Accepted for publication 09.03.2021

Рассмотрено влияние несимметрии фазных токов на вероятность возникновения пожароопасных ситуаций в производственных помещениях, получающих питание в различных системах электроснабжения. Изложены теоретические предпосылки возникновения пожароопасных ситуаций. Показано, что потоки нулевой последовательности, протекающие по нейтральному проводнику в несимметричном режиме, значительно его нагревают, что может привести к коротким замыканиям и условиям для возникновения пожаров. Приведены результаты исследований несимметричных режимов в России и за рубежом. Показано, что возникающие при несимметрии токов потоки нулевой последовательности приводят к увеличению дополнительных потерь активной мощности и электрической энергии. Доказано, что дополнительные тепловые потери, обусловленные несимметричным электропотреблением, могут разрушать изоляцию нейтрального и фазного проводников, что является основной причиной коротких замыканий и, как следствие, пожаров. На основании использования графического редактора *Matlab* построены динамические характеристики изменения фазных и междуфазных токов и напряжений, а также коэффициента потерь мощности, характеризующего увеличение тепловых потерь. Произведен анализ пожаров и их последствий для различных объектов в Российской Федерации. Разработан вычислительный аппарат в системе *Matlab*, с помощью которого произведен расчет и построены графики зависимостей динамики пожаров и их последствий за исследованный промежуток времени. Показано, что возникновение пожаров и их последствия из-за нарушения правил эксплуатации электроустановок происходит в любых помещениях и иногда достигает более 20% от всех возможных причин возникновения пожаров. Рассмотрены способы и технические средства минимизации токов нулевой последовательности как средства предотвращения возникновения пожароопасных ситуаций. Описан принцип действия автоматически-управляемого шунто-симметрирующего устройства с минимальным сопротивлением токам нулевой последовательности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пожар, несимметрия фазных токов, коэффициент дополнительных потерь мощности, симметрирующее устройство.

Адрес для переписки:

Наумов И. В.

ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», кафедра Электроснабжения и электротехники

ул. Лермонтова 83, 664074, г. Иркутск, Россия

e-mail: professornaumov@list.ru

Address for correspondence:

Naumov I. V.

Irkutsk scientific research technical University, Department of power supply and electrical engineering

83 Lermontov str., 664074, Irkutsk, Russia

e-mail: professornaumov@list.ru

Для цитирования:

Наумов И. В., Карамов Д. А. 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>

For citation:

Naumov I. V., Karamov D. A. [On the issue of the occurrence of fire-hazardous situations with asymmetric power consumption]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021, vol. 14, no. 1, pp. 69–76 (in Russian).

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76>

On the issue of occurrence of fire-hazardous situations with unbalanced power consumption

Naumov I. V.^{1,2}, Karamov D. A.^{1,3}

¹ Irkutsk national research technical University
83 Lermontov str., 664074, Irkutsk, Russia

² Irkutsk state agrarian University named after A. A. Yezhevsky
village Youth 1/1, 664038, Irkutsk, Russia

³ Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS
130 Lermontov str., 664058, Irkutsk, Russia

The influence of phase current unbalance on the probability of occurrence of fire-hazardous situations in industrial premises that receive power in various power supply systems is considered. The theoretical prerequisites for the occurrence of fire-hazardous situations are described. It is shown that zero-sequence flows flowing through a neutral conductor in an unbalanced mode significantly heat it, which can lead to short circuits and conditions for the occurrence of fires. The results of studies of unbalanced conditions in Russia and abroad are presented. It is shown that the zero-sequence flows resulting from current unbalance lead to an increase in additional losses of active power and electrical energy. It is proved that additional heat losses caused by unbalanced power consumption can destroy the insulation of neutral and phase conductors, which is the main cause of short circuits and, as a result, fires. Based on the use of the Matlab graphical editor, dynamic characteristics of variations in phase and interphase currents and voltages, as well as the power loss coefficient, which characterizes the increase in heat losses, are constructed. The analysis of fires and their consequences for various objects in the Russian Federation is made. A computational unit has been developed in Matlab, which is used for calculating and plotting the dynamics of fires and their consequences over the investigated period of time. It is shown that the occurrence of fires and their consequences due to violations of the rules of operation of electrical installations occurs in any premises and sometimes reaches more than 20% of all possible causes of fires. Methods and technical means of minimizing zero-sequence currents as a means of preventing the occurrence of fire-hazardous situations are considered. The principle of operation of an automatically controlled shunt-symmetric device with a minimum resistance to zero-sequence currents is described.

KEYWORDS: fire, phase current unbalance, additional power loss factor, balancing device

Введение. Мировой пожарной статистики в 20-м веке не существовало. Отдельные страны в разное время проводили статистические исследования, но впервые в объединенном исследовании это было осуществлено в нынешнем столетии. В 2020 г. вышел очередной отчет о статистике пожаров в мире [1]. В этом отчете содержится пожарная статистика стран и городов мира за 2018 г., а также динамика вызовов, пожаров, их жертв и гибели пожарных в странах и городах мира. Статистические данные приведены для 46 стран (практически для четверти всех стран мира и 1/3 всего мирового населения), а также аналогичные сведения по пожарам в 41 городе мира. Динамика вызовов, пожаров, их жертв и гибель пожарных исследована соответственно в 45, 65, 56 и 28 странах, динамика травмированных на пожарах исследована в 44 странах мира. Кроме того, собраны данные о противопожарных службах в 59 странах мира. В этом документе указано, что в 46 обследованных странах с населением 2,7 млрд. человек (36% населения планеты) были зарегистрированы 49 млн. выездов подразделений пожарно-спасательных служб. При этих пожарах погибли 30,2 тыс. человек и 51,0 тыс. человек были травмированы. При этом на каждые 100 тыс. человек в среднем при пожарах погибли за год 1,1 человек и 1,9 человек получили травмы, а на каждые 100 пожаров приходится в среднем 0,7 погибших и 1,1 человек травмированных. При этом больше всего жертв пожаров на 100 тыс. че-

ловек приходится на Беларусь, Россию и Литву. В [1] собрано очень много различной статистической информации о пожарах: о их количестве, месте происхождения, количестве погибших и травмированных, количестве вызовов на пожары и общего количества пожарных бригад, их оснащенности и даже гендерном составе этих бригад. Кроме того, продолжается формирование мировой пожарной статистики, в которой данные прошлых лет корректируются в соответствии с уточнением информации по городам, регионам и странам. Но в отчете отсутствует статистика причин возгораний. А вместе с тем это самая важная информация, анализ которой и соответствующие рекомендации на основе этого анализа могут позволить в определенной степени снизить, и в какой-то мере предотвратить последствия пожаров. Следует отметить, что в других отчетных материалах о пожарах в разных странах мира и в нашей стране информация о причинах возникновения пожаров представлена достаточно подробно. Так, по [2] за 3 месяца 2020 г. на долю пожаров в зданиях и сооружениях (которые составили 38,9% всех пожаров) по причине «Нарушение правил устройств и эксплуатации электроустановок» (НПУиЭЭ), которые привели к аварийному режиму работы электрического оборудования приходится 12,7% всех пожаров. То есть пожары по этой причине занимают второе место после неосторожного обращения с огнем.

Вместе с этим конкретную причину происхождения

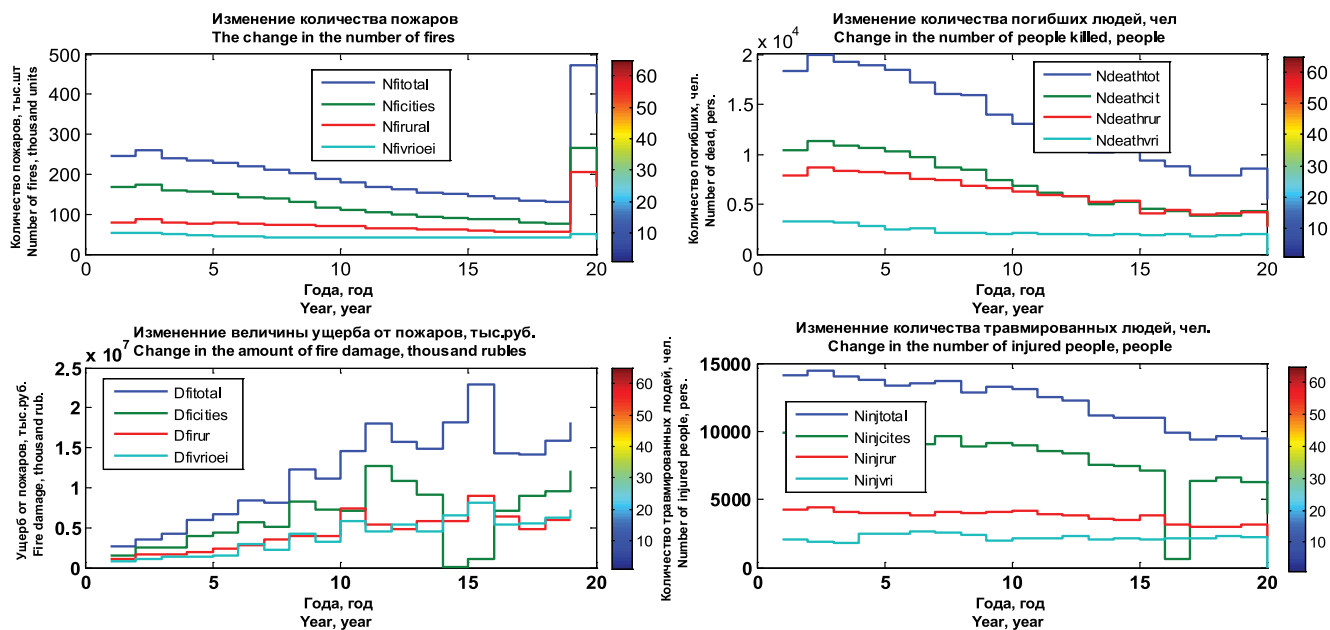


Рисунок 1. Динамика изменения числа пожаров и их последствий
Figure 1. Dynamics of changes in the number of fires and their consequences

коротких замыканий представляется установить достаточно сложно. Конечно, и нарушения при монтаже, и старение электропроводок в зданиях и сооружениях, и неправомерная перегрузка внутренней электрической сети — все это способствует возникновению коротких замыканий, но существуют и другие причины, прямо и непосредственно не связанные с нарушением НПУиЭЭ. Одной из таких причин и посвящена данная статья.

Целью статьи является анализ возможности возникновения пожароопасных ситуаций при систематической и вероятностной несимметрии фазных токов, возникающей в трехфазной четырехпроводной внутренней электрической сети зданий и сооружений.

В связи с указанной целью были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ пожаров и их последствий в России за долгосрочный период, обратив особое внимание на причину возникновения НПУиЭЭ.
2. Представить математическое обоснование возрастания дополнительных тепловых потерь в условиях несимметричного электропотребления.
3. Проанализировать данные исследований несимметричных режимов работы действующих электрических сетей 0,38 кВ.
4. Предложить мероприятия по минимизации рисков возникновения пожаров при несимметричном электропотреблении.

Основная часть. Правила производства внутренних электромонтажных работ регламентируются таким документами, как ПУЭ, ПТЭ и ПТБ в России; NEC, NESC в США и NSAI в Европейском Союзе¹. Тем не менее, ежегодно в мире происходит огромное количество пожаров имен-

но во внутренних электрических проводках зданий и сооружений как в нашей стране, так и за рубежом. Так, по данным [3] пожарные службы ежегодно реагировали в среднем на 44880 домашних пожаров, связанных с отказом или неисправностью электропроводки, которые приводили в среднем к 440 смертям и 1250 ранениям ежегодно среди гражданского населения, а также прямому материальному ущербу в размере 1,3 млрд. долларов в год. При этом указано, что на электроснабжающее, осветительное и передаточное оборудование приходится половина (50%) пожаров [3].

Исследования причин возникновения пожаров по причине НПУиЭЭ рассматривались в Иркутской, Амурской областях [4, 5].

На основании данных² были составлены программы в системе *Matlab*, произведены расчеты и построены зависимости количества пожаров и их последствий. На рисунках 1 (графики 1–4) и 2 представлена динамика этих пожаров. На данных графиках обозначено: *Nfitotal* — общее количество пожаров, тыс. шт.; *Nfcities* — количество пожаров на городских предприятиях, *Nfirural* — количество пожаров на предприятиях в сельской местности; *Nfivrioei* — количество пожаров по причине НПУи ЭЭ; *Ndeathtot* — общее количество погибших в результате пожаров; *Ndeathcit* — количество погибших от пожаров на предприятиях в городах; *Ndeathrur* — количество погибших от пожаров на предприятиях в сельской местности; *Ndeathvri* —

design, installation, and inspection to protect people and property from electrical hazards. April 19–20, 2017, Quincy, MA, NFPA Headquarters, (617) 770-3000); 2017 National Electrical Safety Code® (NESC®) The NESC 2022 Preprint available now; National Electrical Installations/Irish Standard IS 10101-2020.

¹ NFPA 70®. National Electrical Code. Adopted in all 50 states, NFPA 70, National Electrical Code (NEC) is the benchmark for safe electrical

² Пожары и пожарная безопасность / Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий. Москва, 2020.

количество погибших от пожаров по причине НПУиЭЭ; *Dfitotal* — ущерб от общего количества пожаров, тыс. руб.; *Dfcities* — ущерб от пожаров, произошедших на предприятиях в городах; *Dfirur* — ущерб от пожаров на предприятиях в сельской местности; *Ninjttotal* — ущерб от пожаров по причине НПУиЭЭ; *Ninjttotal* — общее количество травмированных в результате пожаров; *Ninjcites* — количество людей, травмированных в результате пожаров на предприятиях в городах; *Ninjrur* — количество людей, травмированных в результате пожаров на предприятиях в сельской местности; *Ninjvri* — количество травмированных людей при пожарах по причине НПУиЭЭ; *Nfunre* — количество пожаров по неустановленным причинам; *Ndeaunre* — количество погибших людей по неустановленным причинам; *Ninunre* — количество травмированных людей по неустановленным причинам.

Анализ представленных зависимостей (графики 1–4, рисунок 1) показал следующее. Общее количество пожаров за исследуемый период составило 4220,653 тыс. Из них пожары в городах составили 61,9%, на предприятиях в сельской местности 38,1%. На долю пожаров, произошедших по причине НПУиЭЭ, приходится 20,67% (872,295 тыс.). При этом всего за исследуемый период погибло 263482 человек, из них в городах гибель людей составила 53,25%, людей в сельской местности — 46,18%. По причине НПУиЭЭ в пожарах за этот период погибло 17,17%. Травматизм людей при пожарах распределился следующим образом. Из общего количества людей, получивших травмы (238648 чел.) на долю городского населения приходится 66,1%, сельского — 31,08%. Кроме того, по неустановленным причинам (рисунок 2) произошло еще дополнительно 19856 пожаров в которых погибло 2645 и травмировано 1400 человек. Из всего количества травмированных людей в результате пожаров по причине НПУиЭЭ приходится 17,54%. За весь исследованный период общий материальный ущерб составил 229761945 тыс. рублей

из которых 52,19% приходится на городские пожары и 36,65% на сельские. Из числа установленных причин пожаров по причине НПУиЭЭ материальный ущерб составил 33,92% (77940336 тыс. рублей).

Таким образом, проведенный анализ показал, что нарушение правил устройств и эксплуатации электроустановок является причиной более 20% всех пожаров, в которых ежегодно в среднем гибнет более 17% и получает травмы около 18,5% всех пострадавших от пожаров людей. Представляется, что это далеко не полная картина последствий пожаров, поскольку не учтены последствия пожаров по неустановленным причинам, составившие 0,5% всех пожаров и в которых погибло более 0,1% от всего погибшего в пожарах населения за этот период.

Рассмотрим, каким образом могут происходить аварийные режимы во внутренних электропроводах помещений, приводящие к возникновению очагов пожаров.

Ежеминутно в мире происходят сотни пожаров в зданиях и сооружениях, гибнут и получают травмы люди, возникает гигантский материальный ущерб. Причин возникновения очагов возгораний множество. К сожалению, в статистике пожаров не всегда представляется возможным выделить истинные причины. В наибольшей степени это касается тех причин, которые так или иначе связаны с нарушением Правил эксплуатации электрических проводов внутри помещений. И, к сожалению, достаточно часто монтаж электроустановок осуществляют не очень квалифицированные специалисты, не имеющие достаточных знаний в области монтажа электроустановок и правил производства работ. Но и при осуществлении монтажа квалифицированными рабочими не исключена возможность создания предпосылок к возникновению пожароопасных состояний. Применительно к электроустановкам среди причин пожаров в ежегодных статистических отчетах ФГУ ВНИИПО МЧС России упоминаются в ос-

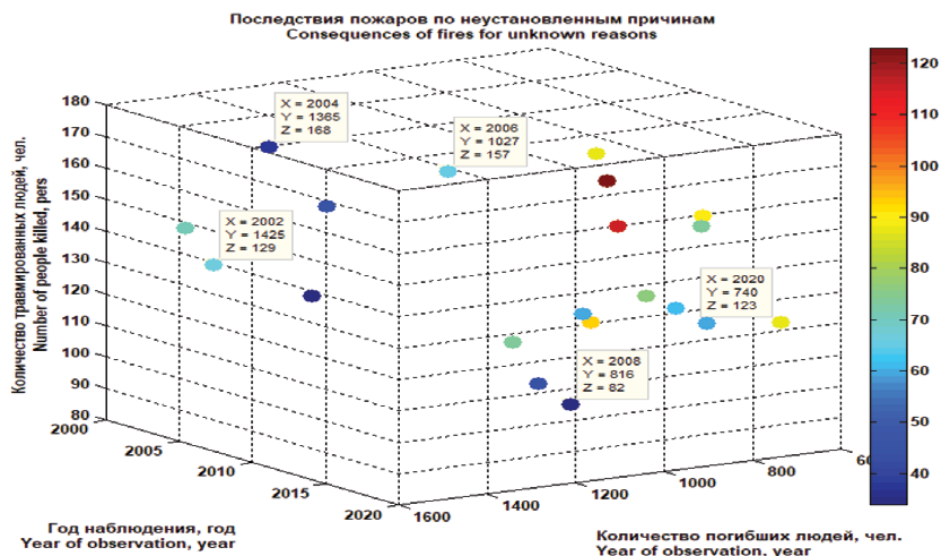


Рисунок 2. Динамика изменения количества пожаров и их последствий по неустановленным причинам
Figure 2. Dynamics of changes in the number of fires and their consequences for unknown reasons

новном нарушении правил технической эксплуатации и несоблюдение правил пожарной безопасности при эксплуатации, а также недостатки конструкции и изготовления и нарушение правил монтажа. При этом констатируется, что эти нарушения приводят к короткому замыканию, что и приводит к воспламенению. С этим следует согласиться. Но в данной статье акцентируется внимание именно на те короткие замыкания, которые возникают вследствие нарушения симметричного электропотребления однофазными электроприемниками в трехфазной системе распределения электроэнергии. Нарушение симметрии токов в фазах приводит к появлению симметричных составляющих токов обратной и нулевой последовательности. По многочисленным публикациям известно, что токи обратной последовательности в четырехпроводной сети 0,38 кВ редко достигают значительных величин. Но токи нулевой последовательности в несимметричном режиме, протекая по нейтральному проводнику, перегревают его. Это очень часто и становится причиной однофазных коротких замыканий.

Дополнительные потери мощности в сети, обусловленные несимметрией токов, характеризуются коэффициентом увеличения потерь мощности [5]:

$$K_P = \Delta P_H / \Delta P_C = 1 + K_{2I}^2 + K_{0I}^2 (r_0 / r_1),$$

где: ΔP_H — потери мощности в сети при несимметричном режиме; ΔP_C — потери мощности в сети, обусловленные протеканием токов прямой последовательности; K_{2I} — коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности, представляющий собой отношение токов обратной к токам прямой последовательности; K_{0I} — коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности, равный отношению токов нулевой к токам прямой последовательности; r_0, r_1 — сопротивления, соответственно, нулевой и прямой последовательностей.

В частном случае, для трехфазной четырехпроводной линии:

$$K_P = 1 + K_{2I}^2 + K_{0I}^2 (1 + 3r_N / r_\Phi),$$

где: r_N, r_Φ — активные сопротивления нулевого и фазного проводов.

При одном и том же сечении фазного и нулевого проводов, $R_0 / R_1 = 4$. Тогда коэффициент увеличения потерь мощности будет определяться, как:

$$K_P = 1 + K_{2I}^2 + 4K_{0I}^2.$$

Из последнего выражения видно, что на дополнительные потери мощности в большей степени будет оказывать влияние именно коэффициент K_{0I} , что наиболее характерно для коммунально-бытовой нагрузке жилых помещений.

Монтаж внутренней электропроводки имеет тенденцию нарушать равномерное распределение однофазных нагрузок, а вероятностный дисбаланс токов

приводит к еще большим дополнительным тепловым потерям. Обычно внутренняя электропроводка монтируется с помощью кабелей, имеющих полиэтиленовую изоляцию и алюминиевые жилы сечением от 1,5 мм² (осветительные сети) до 2,5 мм² (розеточные сети). Для большинства внутренних заглубленных проводок длительно допустимый ток не превышает 14–20 А. Однако допустимый ток — это максимальный рабочий ток, который может быть пропущен по проводнику заданного сечения при условии, что допустимая температура поверхности проводника не будет превышена. Согласно ПУЭ, сечение проводника выбирается по рабочему току и проверяется на нагрев для того, чтобы этот ток не превышал допустимого значения для данного сечения. Это означает, что поперечное сечение выбирается с предположением, что коэффициент $K_P = 1$. При этом поперечное сечение всегда выбирается без учета потоков нулевой последовательности в нейтральном проводнике в сети 0,38 кВ. Таким образом, во-первых, сечение выбранного проводника искусственно занижено, а во-вторых, номинальные параметры автоматического выключателя, защищающего эту линию, также будут выбраны неправильно, так как он также выбирается исходя из рабочего тока. Поскольку поперечное сечение нейтрального проводника не больше (а иногда и меньше) поперечного сечения фазного проводника, протекающие три тока нулевой последовательности перегревают изоляцию, что приводит к ее плавлению и вызывает однофазное короткое замыкание. В том случае, если автоматический выключатель в основной части сети выбран неправильно (т. е. не проверен на чувствительность работы в условиях минимального короткого замыкания), устройство защиты не срабатывает при коротком замыкании в какой-либо удаленной части сети. В результате пожары происходят как в индивидуальных домах в сельских населенных пунктах, коттеджных поселках, городских квартирах, так и в некоторых сельскохозяйственных и производственных помещениях.

Авторами в разное время проведено большое количество исследований несимметричных режимов работы электрических сетей 0,38 кВ в системах электроснабжения. Подобные исследования были проведены в Иркутской, Ленинградской областях, а также в Германии и Монголии. Установлено, что в наибольшей степени несимметрия фазных токов характерна для сельских распределительных электрических сетей, где превышение коэффициента потерь может достигать более 200%, по сравнению с симметричным режимом работы, а в отдельных случаях и выше. Для примера можно рассмотреть изменение режима работы в сельской распределительной сети 0,38 кВ [6].

В период с 17 августа по 13 декабря 2019 г. проведены замеры фазных токов на 19 отходящих ЛЭП 0,38 кВ от 8 силовых трансформаторов. Измерения осуществлялись в соответствии с действующим Стандартом с ГОСТ 308.4.4.30-2013. Выборка средневзвешенных значений измеряемых величин производилась в течение

нии 1008 десятиминутных интервалов в неделю в соответствии с ГОСТ-32144-2013. При этом использовался прибор «Ресурс-UF2M», сертифицированный в Российской Федерации. В качестве примера рассмотрим исследование несимметричного электропотребления на одной из отходящих от подстанции 10/0,4 кВ линии 0,38 кВ. На рисунке 3 представлена временная диаграмма изменения фазных токов в линии 0,38 кВ.

Анализ рисунка 3 показывает, что среднее значение токов в фазах исследуемых электрических сетей составило: фаза «А» — 44,60 А, фаза «В» — 14,62 А, фаза «С» — 17,41 А. Использование программы [7] позволило осуществить расчет коэффициента дополнительных потерь мощности, динамика изменения которого представлена на рисунке 4. Анализ результатов расчетов показал, что среднее значение коэффициента потерь мощности (КР) составило 2,3, то есть превышение тепловых потерь в среднем в 2,3 больше по сравнению с симметричным режимом работы сети. То есть, изна-

чально имеет место несимметричное распределение электрической энергии по фазам трехфазной системы, которое будет усиливаться непосредственно в жилых помещениях, имеющих трехфазный ввод и, тем самым, еще более увеличивать коэффициент потерь, перегревая нулевой проводник.

Полностью исключить несимметрию фазных токов в трехфазной системе практически невозможно. Но достаточно действенным способом для жилых помещений является перераспределение нагрузок по фазам. Это осуществляется непосредственно на главном распределительном щите вводно-распределительного устройства. Для этого мультиметром под нагрузкой осуществляется измерение фазных напряжений. После этого, при «снятой» нагрузке разгружается та фаза, фазное напряжение которой было меньше. Таким образом, осуществляется перераспределение однофазных электроприемников по фазам трехфазного ввода. Вместе с этим вероятностный характер коммутаций однофаз-

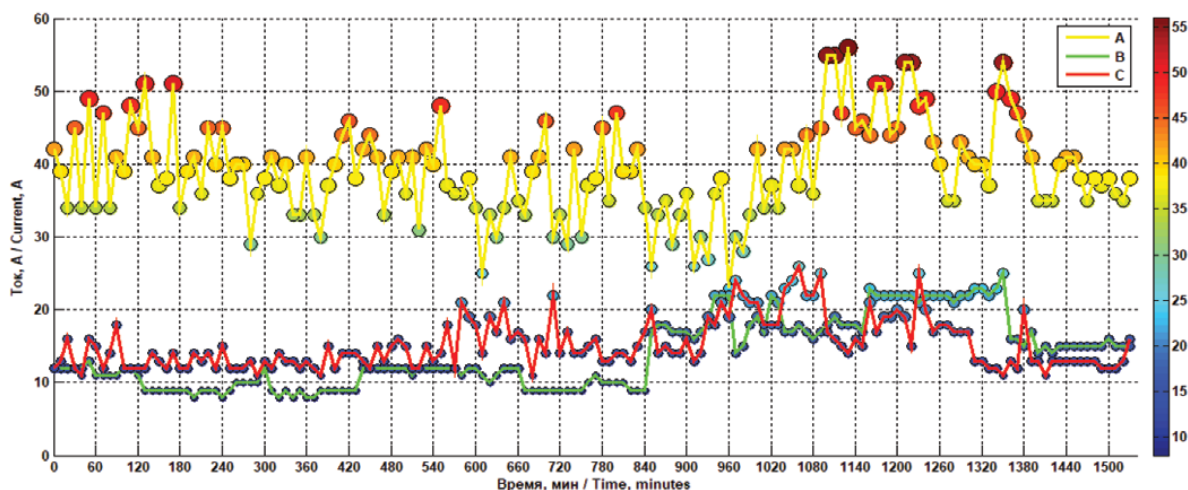


Рисунок 3. Временная диаграмма изменения фазных токов в ЛЭП 0,38 кВ
Figure 3. Time diagram of changes in phase currents in a 0.38 kV power line

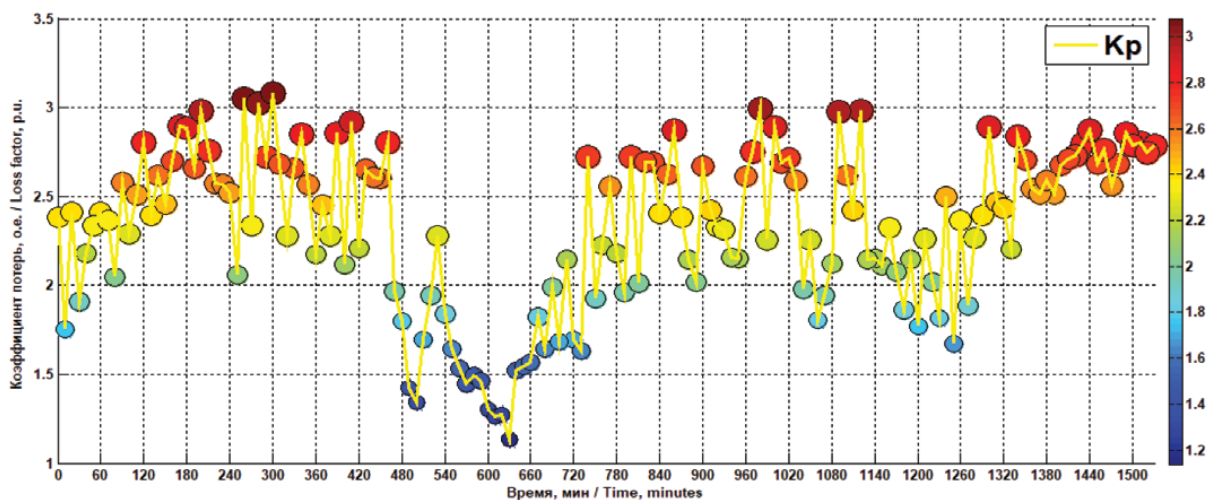


Рисунок 4. Временная диаграмма изменения коэффициента потерь мощности в ЛЭП 0,38 кВ
Figure 4. Time diagram of changes in the power loss coefficient in a power line of 0.38 kV

ных нагрузок способствует увеличению дополнительной тепловой нагрузки на нейтральный провод.

Поэтому для минимизации вероятностной несимметрии токов наиболее целесообразно использование специальных шунто-симметрирующих устройств (ШСУ), имеющих минимальное сопротивление токам нулевой последовательности. Одним из таких ШСУ можно считать устройство электромагнитного типа с автоматическим регулированием его мощности [8]. Это симметрирующее устройство для трехфазных сетей с нулевым проводом состоит из трех трехфазных электромагнитных аппаратов, обмотки которых соединены по схеме встречный зигзаг, имеющих три фазных вывода и один нейтральный, причем каждый фазный вывод предназначен для подключения к фазным проводам сети, а нейтральный — к нулевому проводу. Каждый трехфазный электромагнитный аппарат образует одну ступень мощности симметрирующего устройства. На первой ступени мощности подключается первый трехфазный электромагнитный аппарат. При возрастании несимметрии токов и напряжений мощность устройства увеличивается. Это достигается путем подключения дополнительных одного или двух трехфазных электромагнитных аппаратов к электрической сети. Предлагаемое устройство полностью отключается от сети при достижении тока в нулевом проводе минимальной величины, соответствующей допустимому значению несимметрии токов и напряжений, установленных ГОСТ 32144-2013.

Таким образом, мощность устройства саморегулируется в функции тока нулевого провода и параметры предлагаемого устройства отстраиваются от уровня несимметрии токов в сети 0,38 кВ, имеющего место в данный момент времени.

В некоторых случаях наиболее целесообразно использовать устройство, позволяющее автоматически переключать определенную однофазную нагрузку к наименее загруженной фазе [9], либо использовать специальные преобразователи фаз, как представлено в [10].

Но при использовании любого варианта симметрирования режима работы внутренней электрической сети необходимо совершенно адекватно выбирать средства защиты на скрытых внутренних проводках, питающих однофазные электроприемники. В этом случае необходима тщательная проверка выбранных автоматических выключателей на их возможность безусловного срабатывания при минимальных режимах коротких замыканий на удаленных участках ответвлений внутренних электропроводок.

Выводы

1. Более 20% очагов возгорания в помещениях предприятий и сопутствующих им последствий происходит по причине Нарушения правил устройств и эксплуатации электроустановок.

2. Значительная часть таких возгораний происходит вследствие коротких замыканий в ре-

зультате перегрева нулевого провода внутренних трехфазных электропроводок вследствие значительной несимметрии фазных токов, что приводит к дополнительным тепловым потерям.

3. Основными средствами минимизации дополнительного теплового воздействия служат: перераспределение однофазных нагрузок по фазам внутренней электрической сети; применение специальных шунто-симметрирующих устройств, автоматическое подключение однофазных нагрузок к наименее загруженной фазе, применение трех-однофазных преобразователей.

4. Внутренние электропроводки должны быть защищены надежными средствами защиты, чувствительными к минимальным значениям аварийного воздействия.

Список использованных источников

1. Brushlinsky N. N., Ahrens M. A., Sokolov S. V., Wagner P. World Fier Statistics // CTIF. International association of fier and rescue services. Center of Fier Statistics 2020; 25: 65.
2. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 3 месяца 2020 г. / МЧС России. Департамент надзорной деятельности и профилактической работы. Москва 2020; 16.
3. Campbell Richard. Home electrical fires / NFPA Journal, March 2019; 17.
4. Naumov I. V., Savina N. V., Yamshchikova I. V., Shevchenko M. V. Method for fire risk in residential premises with the help of balancing devices / IPASJ International Journal of Electrical Engineering (IJEE)/ Volume 5, Issue 5, May 2017 ISSN 2321-600X.
5. Naumov I. V. Additional power losses in low-voltage electrical networks and influence on people / RPTSS 2018 International Conference on Research Paradigms Transformation in Social Sciences. The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. Future Academy ISSN: 2357-1330. P 844–853. <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs 2018.12.103>
6. Naumov Igor, Karamov Dmitriy, Tretyakov Alexander, Fedorinova Elvira and Yakupova Marina. Additional electric loss in rural distribution networks 0.38 kV/ E3S Web of Conferences 209, 07007 (2020). eISSN: 2267-1242 ENERGY-21 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907007>
7. Наумов И. В., Гантулга ЭРХЭМБАЯР, Гантулга Дамдинсүрэн. Монгол улс зохиогчийн эрхийн ГЭРЧИГЛГЭЭ. Шинжлэхууаан, утга зохиолын бичмэл буюу аман бүтээл / Государственная регистрация программы для ЭВМ Монголии № 7589, от 11.03.2016 г.
8. Naumov I. V., Karamov D. N., Fedorinova E. S., Yakupova M. A., Tretyakov A. N. Power quality and losses in 0.38 kV rural distribution networks / EPJ Web of Conferences 217, 01012 (2019) FREPS 2019 <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921701012>
9. Kizurov A. S. Symmetry of single-phase loads in four-wire three-phase networks of alternating sinusoidal current / International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017). "Advances in Engineering Research", July 2017; ISBN 978-94-6252-406-4, ISSN 2352-5401 // <https://doi.org/10.2991/aime-17.2017.54>
10. Bronshtein S., Bronshtein A., Epshtein B., Baimel D. A novel method for balancing of three-phase network with a single phase load / Conference: 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies

Conference Europe (ISGT-Europe). October 2016 // DOI:10.1109/ISGTEurope 2016; 7856310.

References

1. Brushlinsky N. N., Ahrens M. A., Sokolov S. V., Wagner P. World Fier Statistics // CTIF. International association of fier and rescue services. Center of Fier Statistics 2020;; 25: 65.
2. Analysis of the situation with fires and their consequences on the territory of the Russian Federation for 3 months of 2020 / EMERCOM of Russia. Department of supervision and preventive work. Moscow 2020;; 16 (in Russ).
3. Campbell Richard. Home electrical fires / NFPA Journal, March 2019;; 17.
4. Naumov I. V., Savina N. V., Yamshchikova I. V., Shevchenko M. V. Method for fire risk in residential premises with the help of balancing devices / IPASJ International Journal of Electrical Engineering (IJEE)/ Volume 5, Issue 5, May 2017 ISSN 2321-600X.
5. Naumov I. V. Additional power losses in low-voltage electrical networks and influence on people / RPTSS 2018 International Conference on Research Paradigms Transformation in Social Sciences. The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. Future Academy ISSN: 2357-1330. P 844 –853. <https://dx.doi.org/10.15405/epsbs 2018.12.103>

6. Naumov Igor, Karamov Dmitriy, Tretyakov Alexander, Fedorinova Elvira and Yakupova Marina. Additional electric loss in rural distribution networks 0.38 kV/ E3S Web of Conferences 209, 07007 (2020). eISSN: 2267-1242 ENERGY-21 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907007>

7. Naumov I. V., Gantulga ERKHEMBAYAR, gantulga Damdinsuren. Mongol ULS theocin arhin GARZIGLIA. Shinjlehuhaan, utga zohiolyn bichmel buyu Aman buteel/ State registration of the computer program of Mongolia No. 7589, dated 11.03.2016.

8. Naumov I. V., Karamov D. N., Fedorinova E. S., Yakupova M. A., Tretyakov A. N. Power quality and losses in 0.38 kV rural distribution networks / EPJ Web of Conferences 217, 01012 (2019) FREPS 2019 <https://doi.org/10.1051/epjconf/201921701012>

9. Kizurov A. S. Symmetry of single-phase loads in four-wire three-phase networks of alternating sinusoidal current/ International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017). "Advances in Engineering Research", July 2017; ISBN 978-94-6252-406-4, ISSN 2352-5401 // <https://doi.org/10.2991/aime-17.2017.54>

10. Bronshtein S., Bronshtein A., Epshtein B., Baimel D. A novel method for balancing of three-phase network with a single phase load / Conference: 2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe); October 2016 // DOI: 10.1109/ISGTEurope. 2016; 7856310.

