

4. Оценка отклонений в результате математического моделирования техногенной нагрузки от показателей, полученных в результате проведения экспериментальной оценки для дизеля 8Ч 12/12, показала, что ошибка может составлять -7,74%.

5. В результате оценки участия отдельных компонентов отработавших газов дизеля в формировании техногенной нагрузки на окружающую среду обнаружено, что на долю оксидов азота NO_x приходится 95,68-98,74%.

6. Моделирование позволяет, посредством учета косвенных показателей, оценивать влияние микроклиматических условий на уровни техногенной нагрузки на окружающую среду.

Библиографический список

1. Новоселов, А. Л. Снижение вредных выбросов дизелей / А. Л. Новоселов, А. А. Мельберт, А. А. Жуйкова. – Новосибирск: Наука, 2007. – 139 с. – Текст: непосредственный.

2. Новоселов, А. Л. Техногенная нагрузка, создаваемая вредными выбросами дизелей на окружающую среду / А. Л. Новоселов, А. А. Мельберт, Д. В. Светашев. – Текст: непосредственный // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сборник статей / под редакцией А. Л. Новоселова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – С. 6-18.

3. Горбунов, В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В. В. Горбунов, Н. Н. Патрахальцев. – Москва: Изд-во РУДН, 1998. – 214 с. – Текст: непосредственный.

4. Разлейцев, Н. Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н. Ф. Разлейцев. – Харьков: Выща школа, 1980. – 169 с. – Текст: непосредственный.

5. Melbert, A., Mashensky, A. (2020). Results of Studying Cleaning of Exhaust Gases of Preheater-Equipped KamAZ-740 Diesel Engine. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_36.

6. Chandes K., Pichon G., Raulf M. (2004). Urea SCR heavy duty engine NO_x reduction for EURO-IV. *Ing. automob.* 770: 61-65.

7. Schwarz Adelbert. Euro-3-Power bis 530 PS // *KFZ Anz.* 1999. 52, No. 20. S. 10-12.

References

1. Novoselov A. L., Melbert A.A., Zhuikova A.A. Snizhenie vrednykh vybrosov dizelei. – Novosibirsk: Nauka, 2007. – 139 s.

2. Novoselov A.L., Melbert A.A., Svetashev D.V. Tekhnogennaia nagruzka, sozdavaemaia vrednymi vybrosami dizelei na okruzhaiushchuiu sredu // *Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti avtotraktornoj tekhniki: sb. statei pod red. A.L. Novoselova.* – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2003. – S. 6-18.

3. Gorbunov V.V., Patrakhaltsev N.N. Toksichnost dvigatelei vnutrennego sgoraniia. – Moskva: Izd-vo RUDN, 1998. – 214 s.

4. Razleitsev N.F. Modelirovanie i optimizatsiia protsessa sgoraniia v dizeliakh. – Kharkov: Vyshcha shkola, 1980. – 169 s.

5. Melbert, A., Mashensky, A. (2020). Results of Studying Cleaning of Exhaust Gases of Preheater-Equipped KamAZ-740 Diesel Engine. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_36.

6. Chandes K., Pichon G., Raulf M. (2004). Urea SCR heavy duty engine NO_x reduction for EURO-IV. *Ing. automob.* 770: 61-65.

7. Schwarz Adelbert. Euro-3-Power bis 530 PS // *KFZ Anz.* 1999. 52, No. 20. S. 10-12.



УДК 621.316.11

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-106-114

И.В. Наумов, А.А. Багаев

I.V. Naumov, A.A. Bagaev

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

STUDY OF ASYMMETRIC OPERATING MODES OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS IN THE ALTAI REGION

Ключевые слова: несимметрия токов и напряжений, качество электроэнергии, дополнительные потери электроэнергии, показатели несимметрии токов и напряжений, симметрирующее устройство.

Keywords: current and voltage asymmetry, power quality, additional losses of electricity, current and voltage asymmetry indices, balancing device.

Статья является продолжением исследований режимов работы распределительных электрических сетей напряжением 0,38 кВ в Иркутской области. В данном исследовании анализируются результаты практических измерений в действующей распределительной электрической сети напряжением 0,38 кВ в Бийском районе Алтайского края. На основании произведенных измерений, с использованием методов и цифровых технологий, разработанных и описанных ранее, произведен расчет и анализ показателей, характеризующих изменение качества электрической энергии и ее дополнительных потерь, обусловленных несимметричным электропотреблением. Установлено, что наиболее существенной причиной изменения указанных показателей является объективно существующая несимметрия фазных токов и напряжений. Вследствие возрастания потоков нулевой последовательности происходит увеличение показателей, характеризующих несимметрию трёхфазной системы напряжений, что не только искажает напряжение электропитания, но и приводит к увеличению дополнительных тепловых потерь, создающих увеличение расхода электроэнергии и угрозу возникновения пожароопасных ситуаций. С использованием цифрового обеспечения расчетов, разработанного ранее, доказано, что снижение потоков нулевой последовательности эффективно производится специальным шунто-симметрирующим устройством, параметры которого автоматически изменяются с изменением уровня несимметричного электропотребления в исследуемой электрической сети. Применение технологий графического MATLAB позволило осуществить визуализацию динамики исследуемых показателей в электрической сети до и после установки симметрирующего устройства. Результаты исследования могут быть полезны научным работникам, занимающимся исследованиями режимов работы действующих электрических

сетей, а также специалистам электросетевых компаний, осуществляющим мониторинг качества электрической энергии в электрических сетях.

This paper continues the research on the operating modes of distribution electrical networks with a voltage of 0.38 kV in the Irkutsk Region. This study analyzes the results of practical measurements in the operating distribution electrical network with a voltage of 0.38 kV in the Biyskiy District of the Altai Region. Based on the measurements made, using the methods and digital technologies developed and described earlier, the calculation and analysis of indicators characterizing the change in the quality of electrical energy and its additional losses due to asymmetric power consumption was carried out. It was found that the most significant reason for the change in these indices was the objectively existing asymmetry of phase currents and voltages. Due to the increase in zero-sequence flows, there is an increase of the indices characterizing the asymmetry of the three-phase voltage system which not only distorts the power supply voltage, but also leads to increase of additional heat losses, creating increase of electricity consumption and a threat of fire hazard situations. With the use of digital calculation software developed earlier, it is proved that the zero-sequence flows are effectively reduced by a special shunt-balancing device which parameters automatically change with a change in the level of asymmetric power consumption in the electrical network under study. The use of graphical MATLAB technologies made it possible to visualize the dynamics of the studied indices in the electrical network before and after the installation of the balancing device. The research findings may be useful to scientists involved in the study of operating modes of existing electric networks as well as specialists from electric grid companies who monitor the quality of electric energy in electric networks.

Наумов Игорь Владимирович, д.т.н., профессор, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: professorsnaumov@list.ru.

Багаев Андрей Алексеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Naumov Igor Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: professorsnaumov@list.ru.

Bagaev Andrey Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Введение

На современном этапе развития электросетевой структуры компаний, обеспечивающих потребности в электрической энергии многочисленных потребителей (в том числе и потребителей агропромышленного комплекса), большое внимание уделяется вопросам цифровизации средств управления электрическими сетями всех структурных подразделений. Цифровизация сельских электрических сетей заключается в создании цифровых РЭС (районных электрических сетей), обладающих распределительной сетью с высоким уровнем автоматизации, обес-

печивающей наблюдаемость сети в режиме реального времени и позволяющей реализовать функции самодиагностики и самовосстановления, а также интеллектуальный учёт электроэнергии. В связи с этим исследования в области разработки средств цифрового обеспечения расчетов режимов в этой связи Рекомендации обобщают и систематизируют требования цифровизации объектов электросетевого хозяйства, обеспечивающих ЭЭ сельскохозяйственные процессы [1].

Многочисленные исследования, производимые в разное время в сельских электрических

сетях, позволили обеспечить методологическую базу цифровизации расчетов режимов работы этих сетей, что позволяет утверждать о повышении эффективности сельского электроснабжения при использовании этих технологий в условиях эксплуатации электрических сетей [2-10].

Несимметричные режимы работы в электрических сетях низкого напряжения (0,38 кВ), питающих сельскохозяйственные потребители, объективно имеют место быть вследствие нарушения симметричного расположения однофазных электроприемников по фазам, случайного характера их коммутаций, а также многочисленных аварийных режимов, приводящих к неполнофазным режимам [11]. Как правило, к показателям, которые оценивают влияние несимметрии токов и напряжений на качество электрической энергии, относят: коэффициенты несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательностям (K_{2U} и K_{0U}), установившееся отклонение напряжения ($\delta U_{(\pm)}$), коэффициент 3-й гармонической составляющей напряжения ($K_{(3)U}$) и коэффициент увеличения потерь мощности (K_P). Выражения для определения этих показателей, а также составляющие, входящие в эти формулы, подробно рассматривались в [2-10, 12-15].

Целью является исследование несимметричных режимов работы в действующих электрических сетях Алтайского края. Для достижения указанной цели поставлен следующий ряд задач: обосновать методико-методологическую основу необходимости расчетов несимметричных режимов; произвести исследования в выбранной действующей электрической сети; на основании разработанной цифровой технологии произвести расчет и анализ исследуемых показателей при отсутствии и включении в электрической сети специального симметрирующего устройства (СУ); предоставить рекомендации по повышению эффективности использования электрической энергии в исследуемой электрической сети.

Методы, модели и инструменты

Значения исследуемых показателей, указанных выше, на территории РФ устанавливаются государственным стандартом [2]. Отклонение этих показателей от установленных норм оказывает негативное влияние как на работу самой электрической сети, так и на функционирование

других электроприемников, которые к ней подключены и находятся в единой электромагнитной среде. Такое влияние подробно обосновано и проанализировано в [2]. К этому следует добавить, что увеличение потоков нулевой последовательности не только приводит к перерасходу электрической энергии за счет возрастания коэффициента потерь мощности, но и создаются реальные условия для возникновения пожароопасных ситуаций, поскольку сечение нейтрального проводника выбирается без учета дополнительного влияния потоков нулевой последовательности, протекающих по этому проводнику при несимметричном электропотреблении. Из теории цепей известно, что несимметрия тока характеризуется увеличением токов фазах за счет появления симметричных составляющих обратной и нулевой последовательности [16]:

$$\left. \begin{aligned} \underline{I}_A &= \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_B &= \underline{a}^2 \underline{I}_1 + \underline{a} \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \\ \underline{I}_C &= \underline{a} \underline{I}_1 + \underline{a}^2 \underline{I}_2 + \underline{I}_0, \end{aligned} \right\}$$

При этом по нулевому проводнику начинают протекать три тока нулевой последовательности: $3I_0$. Соответственно, проводник перегревается, что создаёт угрозу дополнительных тепловых перегрузок. Вопросы повышения пожарной опасности в сельских электрических сетях неоднократно рассматривались во многих публикациях [18-20].

Кроме указанных показателей (K_{0U} , $\delta U_{(\pm)}$, $K_{(3)U}$ и K_P), оценивающих уровень несимметрии токов и напряжений, необходимо определять и соответствующие потери в элементах электрической сети, которые, безусловно, будут увеличиваться при появлении дополнительных симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей:

$$\begin{aligned} \Delta P_{PT} &= \Delta P_{ST(idl.)} + \Delta P_{COP.(wind.)} \cdot \beta^2; \\ \Delta Q_{PT} &= \Delta Q_{ST.(mag.)} + \Delta Q_{disp.} \cdot \beta^2. \end{aligned}$$

где ΔP_{PT} – потери активной мощности силового трансформатора (СТ);

ΔQ_{PT} – потери реактивной мощности СТ;

$\Delta P_{ST(idl.)}$ – потери активной мощности в стали СТ (потери холостого хода) при номинальном напряжении, принимаются по каталожным данным СТ;

$\Delta P_{COP.(wind.)}$ – потери в меди (потери в обмотках) СТ, приравняются к потерям короткого замыкания ($\Delta P_{sh.cir.}$), принимаемым также по каталожным данным СТ;

$\Delta Q_{ST.(mag)}$ – потери реактивной мощности на намагничивание, приравнивается к намагничивающей мощности холостого хода СТ, определяемой по выражению:

$$\Delta Q_{ST.(mag)} = \sqrt{\left(\frac{I_{idl} \cdot S_{nom}}{100}\right)^2 - \Delta P_{ST(idl)}};$$

$\Delta Q_{disp} \approx \frac{U_{sh.cir} \cdot S_{nom}}{100}$ – потери реактивной мощности рассеяния в силовом трансформаторе при номинальной нагрузке; β – реальный коэффициент загрузки СТ, определяемый для каждого изменения мощности трёхфазной несимметричной нагрузки, как отношение суммы полных мощностей каждой фазы сети к номинальной мощности СТ., т.е. $\beta = \frac{S_A + S_B + S_C}{S_{nom}}$.

При исследовании способов и технических средств симметрирования режимов работы электрических сетей неоднократно отмечалось, что наиболее эффективным способом повышения качества, снижения дополнительных потерь и опасности возникновения пожаров является использование специальных технических средств – симметрирующих устройств (СУ), обладающих минимальным сопротивлением токам нулевой последовательности. Конструкции таких устройств, выбор их параметров, а также условия их функционирования неоднократно рассматривались в печати [12, 20-22].

В качестве инструмента расчета используется цифровая технология, описанная в [23]. Основой технологии служит программный комплекс «Unbalance – 1», позволяющий осуществлять расчёт и визуализацию исследуемых показателей при отсутствии и включении СУ в электрической сети.

Результаты исследования и их обсуждение

Объектом проведения исследований был выбран сельский населенный пункт по адресу: с. Зональное Бийского района Алтайского края, ул. Линейная, 1 в. Измерения производились на шинах 0,4 кВ силового трансформатора № 3094, 160-10/0,4 кВ, который получает питание от подстанции ПС-64 "Зональное" 35/10 кВ. Исследование проводилось по заказу АО "СК Алтайкрайэнерго" филиал "Бийские МЭС" (659300, Алтайский край, г. Бийск, ул. Революции, д. 96в) период с 10:00 23 июня до 13:30 27 июня 2022 г. (протокол 28 от 22.06.2022. Контрольные испытания показателей качества электрической энергии. Испытания проведены в соответствии с

ГОСТ 32144-2013 п.п.4.2.1- 4.2.5) на отходящей от шин ТП ЛЭП 0,38 кВ протяженностью 317 м. К данной ЛЭП, выполненной проводом СИП 2А, сечением 4хА50 подключены 13 многоквартирных жилых дома и 1 продовольственный магазин. Данный объект является вторым из двух, принятых для исследований несимметричных режимов. Первым объектом являлась сельская автозаправочная станция, расположенная в Иркутской области. Измерения производились прибором Ресурс UF-2М, № 2479 (Свидетельство о поверке № С-БП/11-10-2021/101044323 от 11.10.2021). Результаты измерения фазных токов и напряжений представлены на рисунке 1, откуда следует, что фазные токи изменяются в основном достаточно равномерно, и их средние значения за период измерения составляют, соответственно: $I_A=20,23$ А; $I_B=21,24$ А; $I_C = 23,82$ А. При этом уровень несимметрии напряжений выше. Средние значения фазных напряжений составляют: $U_A = 230,24$ В; $U_B = 221,9$ В и $U_C = 237,27$ В. Такой уровень несимметрии токов и напряжений приводит к соответствующим характерным показателям несимметрии токов и напряжений, изменение которых представлены на рисунках 2, 3. На рисунке 2, а представлены диаграммы изменения коэффициента потерь (K_p) до и после включения СУ. Анализ этого рисунка показал следующее. Несмотря на то, что уровень несимметрии токов не очень значителен, общая величина коэффициента потерь изменяется в значительных пределах – от 1,127 до 2,514. При этом его среднее значение составило 1,512.

Анализ показывает, что дополнительные потери мощности и электроэнергии более чем на 50% превышают потери, которые обусловлены протеканием только токов прямой последовательности. Включение СУ дает существенный симметрирующий эффект – среднее значение коэффициента K_p составляет 1,045, то есть эффективность симметрирования почти 45%. При этом отмечен эффект, который пока не объяснен. В четырех случаях из всего интервала измерений (для четырех расчетных значений) эффект симметрирования прямо противоположный, т.е. происходит увеличение коэффициента потерь. Так, в первом случае на 480-й минуте измерения значение K_p составляло 1,356. При включении СУ его значение составило 1,745, то есть пока по непонятной причине в какой-то момент потери при включении СУ уве-

личились в 1,29 раза. Во втором случае на 3500-й минуте увеличение произошло с 1,356 до 1,993 (в 1,47 раза), и в третьем на 4180-й минуте K_p увеличился со значения 1,15 до 1,338 (в 1,16 раза). Объяснения этому пока нет, но справедливость расчетов на основе реальных измерений не вызывает сомнений. В целом, эффективность симметрирования весьма высока, что характеризуется изменением и других показателей, на которые влияет уровень несимметрии фазных токов. На рисунке 2, b представлены диаграммы изменения коэффициентов K_{OU} до и после подключения СУ. Как видно из представленных диаграмм, уровень несимметрии напряжений весьма значителен, и среднее значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности составляет 2,89%, что значительно превышает требования Стандарта [15]. При включении СУ среднее значение K_{OU} снижается до 0,346%, т.е. более чем в 8 раз (на 88%). Включение СУ позволяет также снизить и установившееся отклонение фазных

напряжений (рис. 2, c). Анализ этого рисунка показывает, что, изменяясь в широких пределах (от -2,4% до 10,3%), значение δU практически не выходит за установленное значение ($\pm 10\%$) в точке передачи электроэнергии потребителю (шины 0,4 кВ подстанции), и его среднее значение составляет 4,46%. Тем не менее включение СУ на шинах ТП позволяет минимизировать это значение до величины 0,628% (снижение более чем в 7 раз – на 85%). Включение СУ в электрической сети также снижает и потери мощности (рис. 2, d). Как видно из этого рисунка, до включения в сети СУ суммарные потери активной мощности в каждом интервале измерения составляли 0,892 кВт, а реактивной мощности – 3,04 квар. При включении СУ в сеть происходит существенное снижение: средние суммарные потери активной мощности уменьшаются до 0,457 кВт (почти в 2 раза – на 49,8%); потери реактивной мощности – до 2,08 (снижение в 1,46 раза – на 31,6%).

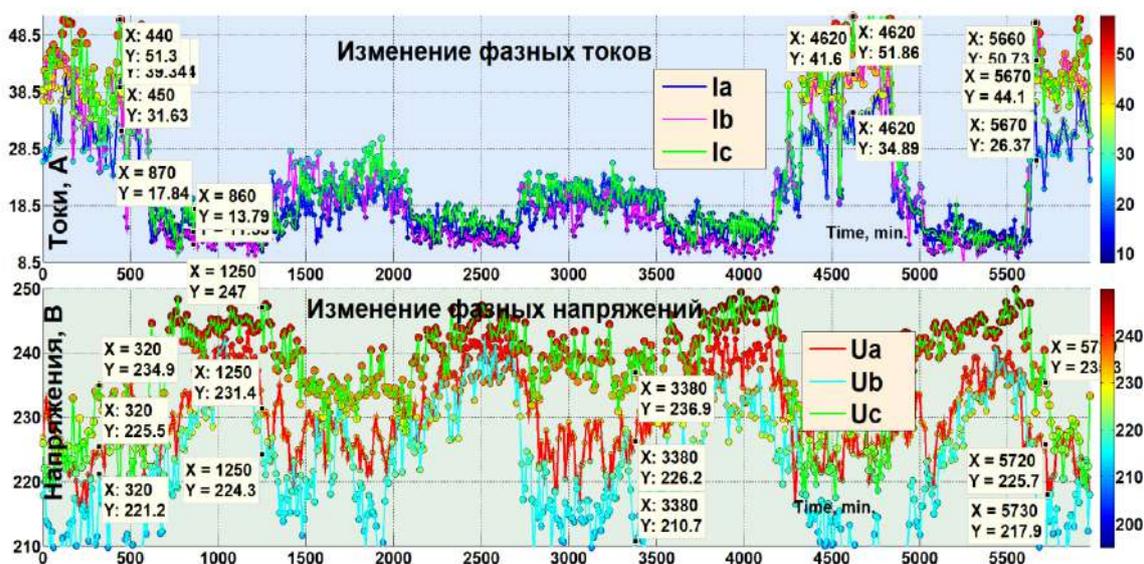


Рис. 1. Временные диаграммы изменения фазных токов и напряжений в электрической сети 2-го объекта

Рассмотрим, как влияет включение СУ на гармонический состав напряжения. Поскольку анализ изменения эмиссии гармоник кратных трём в первом объекте показал, что наибольшее значение соответствует 3-й гармонике U_3 , для данного объекта рассмотрим изменение усредненного для всех трех фаз значения аналогичной гармоники до и после включения СУ (рис. 3).

Как видно из рисунка 3, при отсутствии СУ в электрической сети среднее (из 3 фаз) значение 3-й гармоники напряжения не выходит за пределы, установленные стандартом, и составляет 2,074%. Включение СУ в сеть приводит к снижению значения этой гармоники до величины 0,28% (снижение составляет 86,5%).

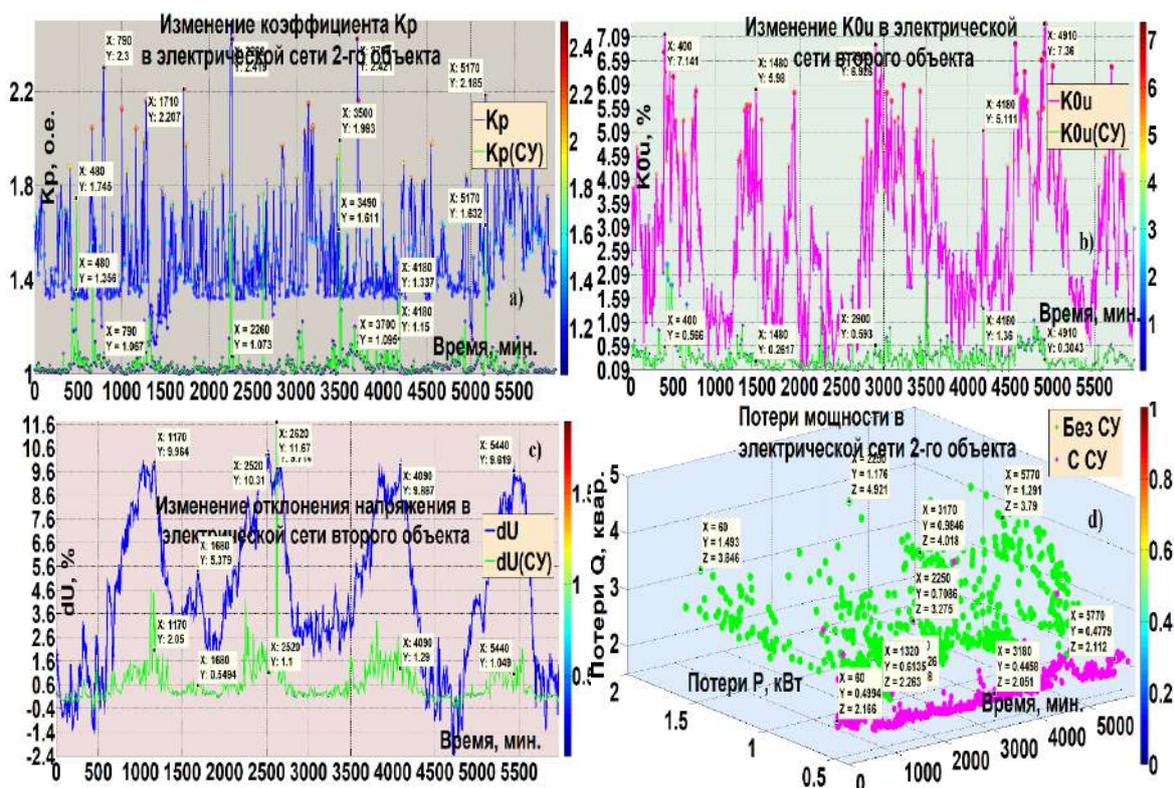


Рис. 2. Временные диаграммы изменения исследуемых показателей в электрической сети 2-го объекта при отсутствии и включении СУ: а) K_p ; б) K_{0i} ; в) δU ; д) ΔP и ΔQ

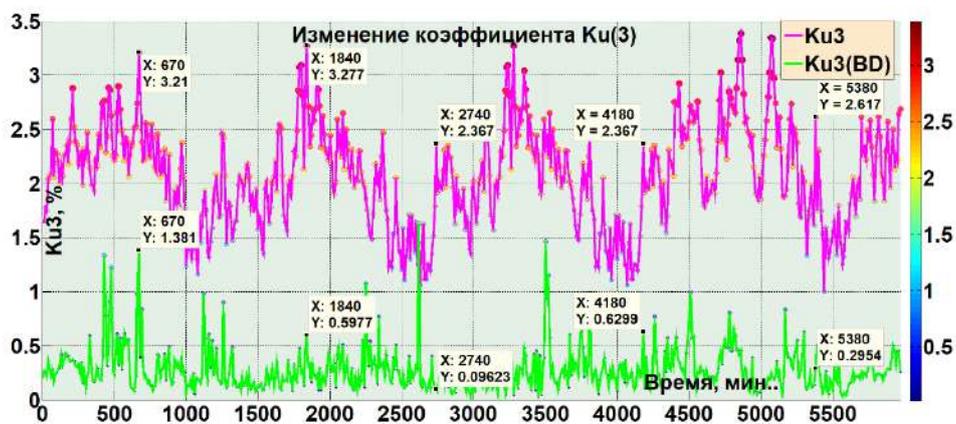


Рис. 3. Временные диаграммы изменения коэффициента 3-й гармонической составляющей напряжения в электрической сети 2-го объекта

Заключение

Произведенные исследования несимметричных режимов в электрических сетях Алтайского края позволили сделать следующие выводы, которые могут рассматриваться в качестве рекомендаций специалистам электросетевых организаций, занимающимся повышением эффективности использования электрической энергии на поднадзорных электросетевых объектах.

1. Уровень несимметричного электропотребления в рассмотренных электрических сетях достаточно высокий. Показатели качества электрической энергии, обусловленные нулевой

последовательностью тока, превышают установленные Стандартом значения, что приводит к нарушению нормальной работы электроприемников.

2. Симметрирование режимов работы электрических сетей с несимметричным электропотреблением можно осуществить путем перераспределения мощностей нагрузки с наиболее загруженной на наименее загруженную фазу 3-фазной сети. Но такой способ наиболее эффективен для симметрирования режима внутренней электрической сети отдельных трёхфазных потребителей. Для симметрирования работы

поселковых сетей рекомендуется устанавливать специальные СУ в ближайших к шинам источника питания узлах нагрузки.

3. Для приведенного примера снижение показателей по нулевой последовательности при включении СУ в среднем составляет более 80%, а дополнительных потерь мощности и энергии – до 50%. Это позволяет не только снизить энергопотребление, но и существенно уменьшить пожарную опасность и аварийность от дополнительной тепловой нагрузки.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по цифровизации объектов электросетевого хозяйства и организации эксплуатации электроустановок на базе цифровых технологий. – URL: <http://energocis.ru/wyswyg/file/RGN-new/.pdf>. (дата обращения: 18.05.2022). – Текст: электронный.

2. Наумов, И. В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Наумов Игорь Владимирович. – Санкт-Петербург; Пушкин, 2002. – 387 с. – Текст: непосредственный.

3. Наумов, И. В. Оптимизация несимметричных режимов системы сельского электроснабжения. Теоретические обобщения: монография / И. В. Наумов. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2001. – 217 с.

4. Наумов, И. В. Несимметричные режимы работы распределительных электрических сетей: монография / И. В. Наумов. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2014. – 152 с. – Текст: непосредственный.

5. Косоухов, Ф. Д. Методы расчета и анализа показателей несимметрии токов и напряжений в сельских распределительных сетях: учебное пособие / Ф. Д. Косоухов. – Ленинград: ЛСХИ, 1984. – 42 с. – Текст: непосредственный.

6. Косоухов, Ф. Д. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях: монография / Ф. Д. Косоухов, И. В. Наумов. – Иркутск: Изд-во «ИДП», 2003. – 259 с. – Текст: непосредственный.

7. Наумов И.В., Гантулга ЭРХЭМБАЯР, Дамдинсүрэн Гантулга. Монгол улс зохиогчийн эрхийн ГЭРЧИГЛГЭЭ. Шинжлэхууаан, утга зохиолын бичмэл буюу аман бүтээл / Государ-

ственная регистрация программы для ЭВМ Монголии, № 7589, от 11.03.2016 г.

8. Программа по моделированию и расчету несимметричных режимов работы электрических сетей 0,38 кВ с распределенной нагрузкой и симметрирующим устройством / И. В. Наумов, А. А. Митягин, Э. С. Федорова, М. А. Якупова. – Текст: непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации Программы для ЭВМ, № 2021667376 от 28 октября 2021 г.

9. «Unbalance-1» / И. В. Наумов, Э. С. Федорова, М. А. Якупова, С. В. Подъячих. – Текст: непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662841, 2022 г.

10. Наумов, И. В. «Unbalance-2» / И. В. Наумов, Э. С. Федорова, М. А. Якупова. – Текст: непосредственный // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022610925, 2022 г.

11. Наумов, И. В. Моделирование режимов несимметричного электропотребления в сельских распределительных электрических сетях 0,38 кВ при многоступенчатом отборе мощности / И. В. Наумов, А. А. Багаев. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 6 (212). – С. 90-104.

12. Наумов, И. В. К вопросу управления несимметричными режимами работы распределительных электрических сетей 0,38 кВ / И. В. Наумов. – Текст: непосредственный // Промышленная энергетика. – 2022. – № 5. – С. 2-14.

13. Наумов, И. В. Исследование несимметричных режимов работы внутренних электрических сетей индивидуальных жилых домов в сельской местности / И. В. Наумов, А. В. Бастрон. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-6-44-58. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 6 (133). – С. 44-58.

14. Naumov I.V., Podyachirh S.V. The 0.38 kV "Green Network" Operating Modes Simulation with Multi-Level Unbalanced Power Consumption / APEC-IV-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 990 (2022) 012055 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/990/1/012055.

15. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Стандарт качества электрической энергии в системах электроснабжения общего

назначения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – Текст: непосредственный.

16. Матвиенко В.А. Основы теории цепей: учебное пособие / В. А. Матвиенко. – Екатеринбург: УМЦ УПИ, 2016. – 162 с. – Текст: непосредственный.

17. Naumov, I. V. (2019). 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"*. 1-5. DOI: 10.1109/EastConf.2019.8725407.

18. Наумов, И. В. Симметрирование режимов работы внутренних электрических трёхфазных сетей, как средство снижения пожарной опасности / И. В. Наумов. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 38. – С. 19-26.

19. Наумов, И. В. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении / И. В. Наумов, Д. Н. Карамов. – Текст: непосредственный // Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 69-76.

20. Наумов, И. В. Устройство для симметрирования токов и напряжений в трёхфазной сети с нулевым проводом и саморегулируемой индуктивностью / И. В. Наумов, Г. В. Лукина, А. А. Лукин [и др.]. – Текст: непосредственный // Свидетельство на полезную модель № 26699: (51) МПК 7 Н 02 J 3/26. Выдано 03.06.2002 с формулой: (21)2002114471/20.

21. Патент на полезную модель № 61063. Симметрирующее устройство для трёхфазной четырёхпроводной сети с регулируемыми параметрами / Наумов И. В., Иванов Д. А., Шпак Д. А., Матвиенко А. А., Подъячих С. В., Сукьясов С. В. – опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4. – Текст: непосредственный.

22. Наумов И.В. Симметрирующее устройство для трёхфазных сетей с нулевым проводом / И.В. Наумов, Д.А. Иванов, С.В. Подъячих, Д. Гантулга // Патент на изобретение № 2490768. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ от 20 августа 2013 г.

23. Naumov I., Podyachikh S., Polkovskaya M., Tretyakov A. (2022). Green technologies use in the smart grid construction in rural power supply systems. *BIO Web Conf.* 42 03006. DOI: 10.1051/bioconf/20224203006.

References

1. Metodicheskie rekomendatsii po tsifrovizatsii obiektov elektrosetevogo khoziaistva i organizatsii ekspluatatsii elektrustanovok na baze tsifrovyykh tekhnologii]. Rezhim dostupa: <http://energocis.ru/wyswyg/file/RGN-new.pdf> (data obrashcheniia: 18 maia 2022.).

2. Naumov I.V. Snizhenie poter i povyshenie kachestva elektricheskoi energii v selskikh raspredelitelnykh setiakh 0,38 kV s pomoshchiu simmetriuiushchikh ustroystv / dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg; Pushkin, 2002. – 387 s.

3. Naumov I.V. Optimizatsiia nesimmetrichnykh rezhimov sistemy selskogo elektrosnabzheniia. Teoreticheskie obobshcheniia: monografiia. – Irkutsk: Izd-vo IrGSKhA, 2001. – 217 s.

4. Naumov I.V. Nesimmetrichnye rezhimy raboty raspredelitelnykh elektricheskikh setei: monografiia. – Irkutsk: Izd-vo IrGSKhA, 2014. – 152 s.

5. Kosoukhov F.D. Metody rascheta i analiza pokazatelei nesimetrii tokov i napriazhenii v selskikh raspredelitelnykh setiakh: uchebnoe posobie. – Leningrad: LSKhI, 1984. – 42 s.

6. Kosoukhov F.D., Naumov I.V. Nesimetriia napriazhenii i tokov v selskikh raspredelitelnykh setiakh: monografiia. – Irkutsk: Izd-vo "IDP", 2003. – 259 s.

7. Naumov I.V., Gantulga Erkhembaiar, Damdinsuren Gantulga. Mongol uls zokhiogchiin erkhiin GERChIGLGEE. Shinzhlekhukhaan, utga zokhiolyn bichmel buiuu aman buteel / Gosudarstvennaia registratsiia programmy dlia EVM Mongolii, No. 7589, ot 11.03.2016 g.

8. Naumov I.V. Programma po modelirovaniu i raschetu nesimmetrichnykh rezhimov raboty elektricheskikh setei 0,38 KV s raspredelennoi nagruzkoi i simmetriuiushchim ustroystvom / I.V. Naumov, A.A. Mitiagin, E.S. Fedorinova, M.A. Iakupova // Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii Programmy dlia EVM, No. 2021667376 ot 28 oktiabria 2021 g.

9. «Unbalance-1» / I.V. Naumov, E.S. Fedorinova, M.A. Iakupova, S.V. Podieiachikh / Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM No. 2022662841, 2022 g.

10. Naumov I.V. «Unbalance-2» / I.V. Naumov, E.S. Fedorinova, M.A. Iakupova / Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlia EVM No. 2022610925, 2022 g.

11. Naumov I.V., Bagaev A.A. Modelirovanie rezhimov nesimmetrichnogo elektropotrebleniia v

selskikh raspredelitelnykh elektricheskikh setiakh 0,38 kV pri mnogostupenchatom otbore moshchnosti // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 6 (212). – S. 90-104. DOI: 10.53083/1996-4277-2022-212-6-90-104.

12. Naumov I.V. K voprosu upravleniia nesimmetrichnymi rezhimami raboty raspredelitelnykh elektricheskikh setei 0,38 kV // Promyshlennaia energetika. – 2022. – No. 5. – S. 2-14.

13. Naumov I.V., Bastron A.V. Issledovanie nesimmetrichnykh rezhimov raboty vnutrennikh elektricheskikh setei individualnykh zhilykh domov v selskoi mestnosti / Vestnik NGIEI. – 2022. – No. 6 (133). S. 44–58. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-6-44-58.

14. Naumov I.V., Podyachirh S.V. The 0.38 kV "Green Network" Operating Modes Simulation with Multi-Level Unbalanced Power Consumption / APEC-IV-2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 990 (2022) 012055 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/990/1/012055.

15. GOST 32144-2013 Elektricheskaja energija. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaia. Standart kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia. – Moskva: Standartinform, 2014.

16. Matvienko V.A. Osnovy teorii tsepei / V.A. Matvienko // uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: UMTs UPI, 2016. – 162 s.

17. Naumov, I. V. (2019). 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". 1-5. DOI: 10.1109/EastConf.2019.8725407.

18. Naumov I.V. Simmetrirovaniie rezhimov raboty vnutrennikh elektricheskikh trekhfaznykh setei, kak sredstvo snizheniia pozharnoi opasnosti // Aktualnye voprosy agrarnoi nauki. – 2021. – No. 38. – S. 19-26.

19. Naumov I.V., Karamov D.N. K voprosu o vznikoventii pozharoopasnykh situatsii pri nesimmetrichnom elektropotreblenii // Nadezhnost i bezopasnost energetiki. – 2021. – T. 14. – No. 1. – S. 69-76.

20. Naumov I.V. Ustroistvo dlia simmetrirovaniia tokov i napriazhenii v trekhfaznoi seti s nulevym provodom i samoreguliruemoi induktivnostiu / I.V. Naumov, Lukina G.V., Lukin A.A., Sukiasov S.V., Podieiachikh S.V. // Svidetelstvo na polezniu model No. 26699: (51) MPK 7 N 02 J 3/26. Vydano 03.06.2002 s formuloi: (21)2002114471/20.

21. Naumov I.V. Simmetrirovaniie ustroistvo dlia trekhfaznoi chetyrekhprovodnoi seti s reguliruemyimi parametrami / I.V. Naumov, D.A. Ivanov, D.A. Shpak, A.A. Matvienko, S.V. Podieiachikh, S.V. Sukiasov // Patent na polezniu model No. 61063 – Opublikovano 10.02.2007 Biul. No. 4.

22. Naumov I.V. Simmetrirovaniie ustroistvo dlia trekhfaznykh setei s nulevym provodom / I.V. Naumov, D.A. Ivanov, S.V. Podieiachikh, D. Gantulga // Patent na izobretenie No. 2490768. Zaregistrovan v Gosreestre izobretenii RF ot 20 avgusta 2013 g.

23. Naumov I., Podyachikh S., Polkovskaya M., Tretyakov A. (2022). Green technologies use in the smart grid construction in rural power supply systems. *BIO Web Conf.* 42 03006. DOI: 10.1051/bioconf/20224203006.



УДК 631.1.363

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-215-9-114-119

У.К. Сабиев, И.Р. Хузин

U.K. Sabiev, I.R. Khuzin

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕЗВОДНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ

SUBSTANTIATION OF DESIGN AND OPERATIONAL PARAMETERS OF WATER-FREE ROOT CROP CLEANER

Ключевые слова: корнеклубнеплоды, безводная очистка, колебания, щеточный вал, полубарабан, поверхность отклика, рациональные параметры.

Keywords: root crops, water-free cleaning, oscillations, brush beater, semi-drum, response surface, rational parameters.