

## ӘДЕБИЕТТЕР

1. Луценко Е. В. АСК – Анализ влияния экологических факторов на качество жизни населения региона// В Научный журнал КубГАУ. – No110(06), 2015 года
2. Рутковская Д., Пилиньский В., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М: Горячая линия; Телеком, 2004. — 452 с.
3. Современные информационные технологии: Учебное пособие / Н.В. Максимов, Т.Л. Партыка, И.И. Попов. – М.: Форум, 2008. – 512 с.
4. Прогнозирование Временных Рядов С Использованием Глубокого Обучения [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ug/time-series-forecasting-using-deep-learning.html>
5. LSTM — нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/lstm-nejronnaja-set/>

УДК 621.315

Б. Онгар<sup>а</sup>, А. Егзекова, Н. Есен<sup>б</sup>, Е. Сеитбек<sup>с</sup>

Академия логистика и транспорта, Республика Казахстан, город Алматы

<sup>а</sup>[Ongar\\_bulbul@mail.ru](mailto:Ongar_bulbul@mail.ru), <sup>б</sup>[granata81@mail.ru](mailto:granata81@mail.ru), <sup>с</sup>[erlanseitbek@mail.ru](mailto:erlanseitbek@mail.ru)

## СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

**Аннотация.** В статье представлен анализ и оценка качества в распределительных сетях низкого напряжения 6-10/0,4кВ в Казахстане. Качество электроэнергии часто не соответствует номинальному значению, что в значительной степени из-за несбалансированной загрузки фаз в сетях, что также приводит к увеличению потерь мощности.

Исследования несимметричных режимов работы городских распределительных сетей 0,4 кВ состоит из двух этапов: расчеты и анализ соответствующих данных; предоставление практических руководящих принципов и, наконец, внедрение инструментов для нормализации работы сети.

В ходе исследования были найдены способы уменьшить несимметрию токов и напряжений. Область применения: городские и сельские распределительные сети 10/0,4 кВ.

Экономическая эффективность: предлагаемые меры позволяют снизить потери мощности.

**Ключевые слова:** Показатель, качества электроэнергии, электрические сети, потери мощности, метод симметричных.

**Аңдатпа.** Мақалада Қазақстандағы 6-10/0,4 кВ төмен кернеулі тарату желілеріндегі сапаны талдау және бағалау ұсынылған. Электр энергиясының сапасы көбінесе номиналды мәнге сәйкес келмейді, бұл көбінесе желілердегі фазалардың теңгерімсіз жүктелуіне байланысты, бұл да қуаттың жоғалуына әкеледі.

0,4 кВ қалалық тарату желілерінің асимметриялық жұмыс режимдерін зерттеу екі кезеңнен тұрады: тиісті деректерді есептеу және талдау; практикалық нұсқаулар беру және, сайып келгенде, желіні қалыпқа келтіру құралдарын енгізу.

Зерттеу барысында Токтар мен кернеулердің асимметриясын азайту жолдары табылды. Қолданылу саласы: 10/0,4 кВ қалалық және ауылдық тарату желілері.

Экономикалық тиімділік: ұсынылған шаралар қуат шығынын азайтады.

**Түйінді сөздер:** көрсеткіш, электр энергиясының сапасы, электр желілері, қуаттың жоғалуы, симметриялық әдіс.

**Abstract.** The article presents the analysis and evaluation of quality in low voltage distribution networks of 6-10/0.4kV in Kazakhstan. The quality of electricity often does not correspond to the nominal value, which is largely due to the unbalanced loading of phases in the networks, which also leads to an increase in power losses.

The study of asymmetric modes of operation of 0.4 kV urban distribution networks consists of two stages: calculations and analysis of relevant data; provision of practical guidelines and, finally, the introduction of tools for network normalization.

In the course of the study, ways were found to reduce the asymmetry of currents and voltages. Scope of application: urban and rural distribution networks of 10/0.4 kV.

Economic efficiency: the proposed measures allow to reduce power losses.

**Keywords:** Indicator, electricity quality, electric networks, power loss, symmetric method.

**Введение.** Потери электрической энергии при её передаче по электрическим сетям (далее потери) - один из важнейших показателей энергетической и экономической эффективности электросетевого комплекса Казахстана. Потери зависят от большого количества влияющих факторов: технических параметров и конфигурации электрических сетей, загрузки и режимов их работы, качества электроэнергии, надёжности работы оборудования, межсистемных и межсетевых потоков мощности и электроэнергии, погодных условий, времени года и суток, состояния систем учёта и сбора данных об отпуске электроэнергии в сеть, полезного отпуска и др [1] .

Относительные потери в электрических сетях Казахстана в 2 - 2,5 раза выше потерь в сетях промышленно развитых стран. Многочисленные расчёты показывают, что имеется существенный потенциал по их снижению, как минимум на 25 - 30%. Для выявления, обоснования и практической реализации этого потенциала необходимы постоянный мониторинг и анализ структуры технических и нетехнических потерь по уровням напряжения, подразделениям электросетевых компаний, оборудованию электрических сетей, временным периодам с учётом перечисленных влияющих факторов.

Существует проблема неэффективного использования электроэнергии и энергетического оборудования в распределительных сетях в результате несбалансированной фазовой нагрузки и т. д. Таким образом, стратегической целью данного исследования является определение оптимального режима работы в распределительных сетях и разработка мер по снижению потери мощности. Существуют различные методы снижения потерь электроэнергии, и в основном эти методы сгруппированы в три группы: организационные, технические и методы улучшения системы учёта электроэнергии.

Организационные мероприятия включают: 1. поиск мест разъединения с дублированием электроснабжения; 2. уменьшение несимметричной фазовой нагрузки; 3. оптимизация загрузки силовых трансформаторов.

Технические события означают использование специального оборудования, например: для уменьшения потерь мощности на первичных фидерах распределения можно установить шунтирующую батарею конденсаторов, а также для уменьшения несбалансированной фазовой нагрузки; может быть установлен фильтр гармоник. Методы совершенствования системы учёта электроэнергии связаны с применением систем автоматического учёта электроэнергии и применением электросчетчиков высокого уровня точности.

Объект исследования - участок городской распределительной сети 10/ 0,4 кВ в г. Алматы. Основным недостатком этой части является неэффективная загрузка

оборудования (коэффициент нагрузки; у большинства трансформаторов коэффициент нагрузки ниже 45%).

Расчет токов коротких замыканий в энергосистеме методом симметричных составляющих. В результате различного вида коротких замыканий в сложной энергосистеме возникает несимметричный режим. Расчет токов коротких замыканий в различных точках энергосистемы является важной инженерной задачей. Также расчеты выполняются методом симметричных составляющих.

В качестве примера рассмотрим определение тока однофазного короткого замыкания на землю в заданной точке простейшей энергосистемы. Символьная схема энергосистемы показана на рисунок 1. Короткое замыкание фазы *A* на землю происходит в конце линии электропередачи [2].

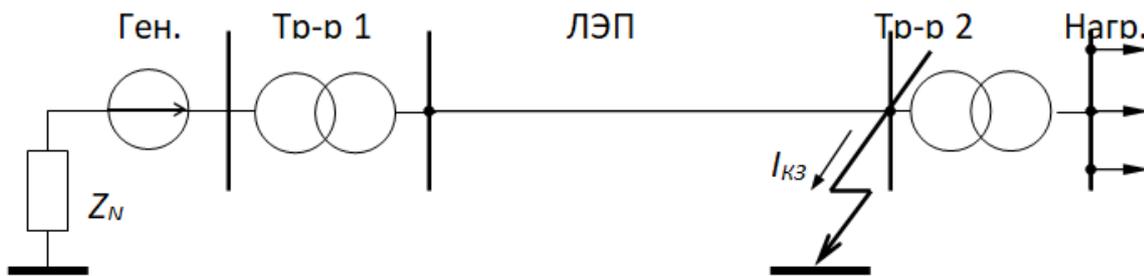


Рисунок 1 - Однофазного короткого замыкания на землю в заданной точке простейшей энергосистемы

В соответствии с теоремой о компенсации заменим (мысленно) несимметричный участок в точке короткого замыкания несимметричным трехфазным генератором ( $\underline{U}_A$ ,  $\underline{U}_B$ ,  $\underline{U}_C$ , причем  $\underline{U}_A = 0$ ). Несимметричную систему векторов напряжений разложим (мысленно) на симметричные составляющие  $\underline{U}_{A1}$ ,  $\underline{U}_{A2}$ ,  $\underline{U}_{A0}$ . Для каждой из симметричных составляющих схема цепи совершенно симметрична и может быть представлена в однофазном виде. Поэтому составляются однофазные схемы для прямой (рисунок 2), обратной (рисунок 3) и нулевой (рисунок 4) последовательностей.

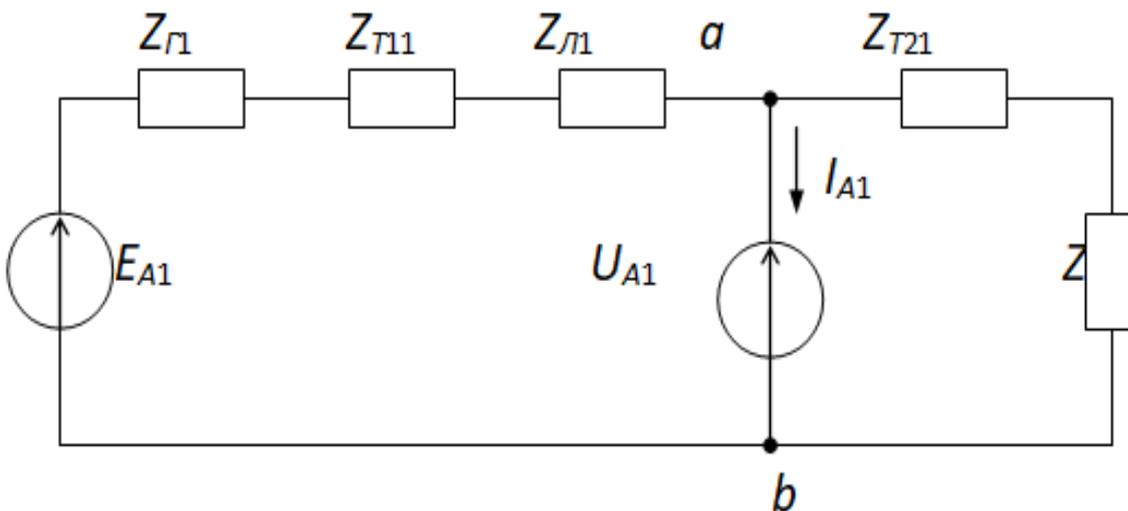


Рисунок 2 - Однофазные схемы для прямой последовательностей

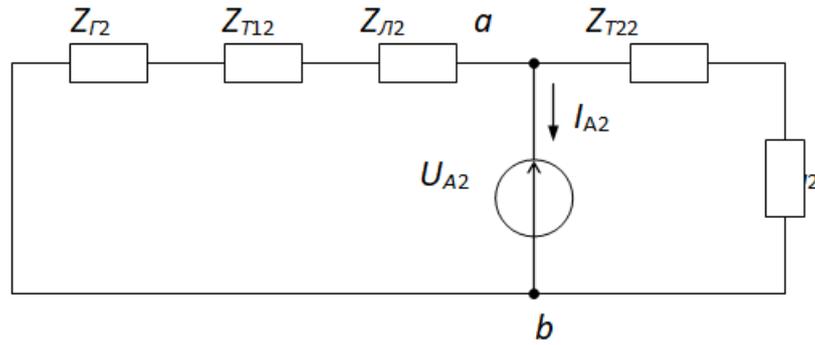


Рисунок 3 - Однофазные схемы для обратной последовательностей

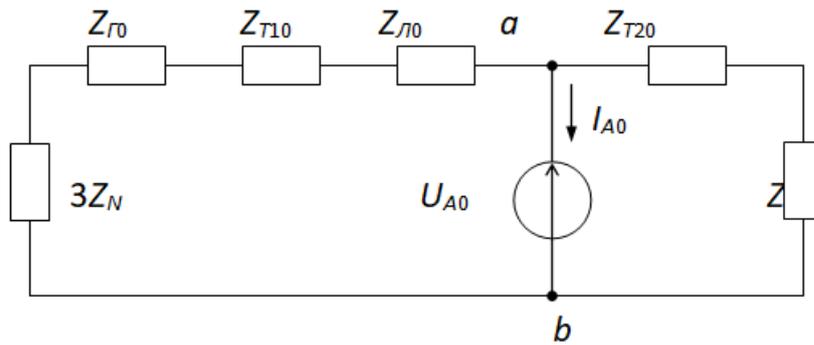


Рисунок 4 - Однофазные схемы для нулевой последовательностей

Далее в соответствии с теоремой об эквивалентном генераторе производится свертка расчетных схем для каждой из симметричных составляющих относительно выводов несимметричного участка  $ab$ . В результате свертки получают простейшие одноконтурные схемы (рисунок 5 а, б, в):

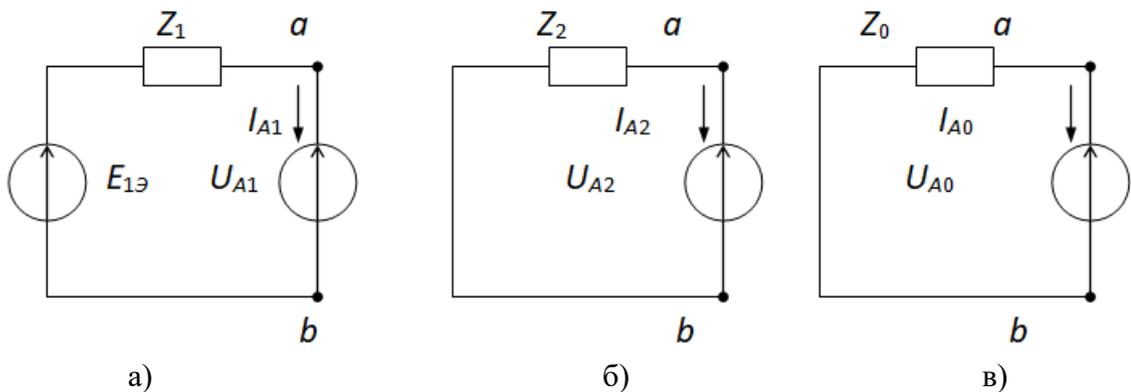


Рисунок 5 - Расчетных схем для каждой из симметричных составляющих

Для каждой из расчетных схем (рисунок 5 а, б, в) составляются уравнения по 2-му закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} \underline{I}_{A1} \cdot \underline{Z}_1 + \underline{U}_{A1} = \underline{E}_{1Э} & (1) \\ \underline{I}_{A2} \cdot \underline{Z}_2 + \underline{U}_{A2} = 0 & (2) \\ \underline{I}_{A0} \cdot \underline{Z}_0 + \underline{U}_{A0} = 0 & (3) \end{cases}$$

В полученной системе уравнений Кирхгофа содержится 6 неизвестных величин ( $\underline{I}_{A1}$ ,  $\underline{I}_{A2}$ ,  $\underline{I}_{A0}$ ,  $\underline{U}_{A1}$ ,  $\underline{U}_{A2}$ ,  $\underline{U}_{A0}$ ) и ее непосредственное решение невозможно. Поэтому система уравнений Кирхгофа дополняется тремя недостающими уравнениями, вытекающими из вида короткого замыкания. В рассматриваемом примере в точке короткого замыкания напряжение фазы  $A$  равно нулю ( $U_A = 0$ ), а также токи фаз  $B$  и  $C$  равны нулю ( $\underline{I}_B = \underline{I}_C = 0$ ). Дополнительные уравнения будут иметь вид:

$$\begin{cases} \underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} = 0 & (4) \\ \underline{I}_B = a^2 \cdot \underline{I}_{A1} + a \cdot \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} = 0 & (5) \\ \underline{I}_C = a \cdot \underline{I}_{A1} + a^2 \cdot \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} = 0 & (6) \end{cases}$$

В результате совместного решения системы из 6-и уравнений определяются симметричные составляющие токов  $\underline{I}_{A1}$ ,  $\underline{I}_{A2}$ ,  $\underline{I}_{A0}$ . В рассматриваемом примере решение системы может быть выполнено в следующей последовательности.

1) Вычитаем почленно из уравнения (5) уравнение (6) и получаем:

$$(a^2 - a) \cdot \underline{I}_{A1} - (a^2 - a) \cdot \underline{I}_{A2} = 0, \text{ откуда следует, что } \underline{I}_{A1} = \underline{I}_{A2}.$$

2) Складываем почленно уравнение (5) и уравнение (6) и с учетом, что  $a^2 - a = -1$ , получаем:  $(a^2 + a) \cdot \underline{I}_{A1} + (a^2 + a) \cdot \underline{I}_{A2} + 2\underline{I}_{A0} = 0$ , откуда следует, что  $\underline{I}_{A1} = \underline{I}_{A2} = \underline{I}_{A0}$ .

3) Складываем почленно уравнения (1), (2), (3) и с учетом уравнения (4) и равенства  $\underline{I}_{A1} = \underline{I}_{A2} = \underline{I}_{A0}$  получаем:

$$\underline{I}_{A1} \cdot (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0) + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} = \underline{I}_{A1} \cdot (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0) + 0 = \underline{E}_{1\Omega},$$

откуда следует решение для тока:

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{E}_{1\Omega}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} = \underline{I}_{A2} = \underline{I}_{A0}.$$

Все действительные токи определяются по методу наложения через соответствующие симметричные составляющие, например, ток короткого замыкания равен току фазы  $A$ :

$$\underline{I}_{K3} = \underline{I}_A = \underline{I}_{A1} + \underline{I}_{A2} + \underline{I}_{A0} = 3\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{E}_{1\Omega}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0}.$$

*Несинусоидальные режимы электроснабжения.* Каждый электроприемник предназначен для работы при определенных параметрах электрической энергии номинальной частоте, напряжении, токе и тд. Поэтому для нормальной его работы должно быть обеспечено требуемое качество электроэнергии. Таким образом, качество электрической определяется совокупностью характеристик, при которых электроприемники могут нормально работать и функционировать [3].

В результате роста внедрения новых технологий на предприятиях происходит рост применения таких устройств как: электродуговые печи, сварочные установки однофазные и трехфазные, вентильные преобразователи, электромагнитные и электронные балласты систем освещения и другие устройства, имеющие нелинейные

вольт - амперные характеристики. Так же к устройствам с нелинейной вольт - амперной характеристикой относятся силовые трансформаторы, газоразрядные лампы, магнитные усилители. Искажение кривой переменного тока или несинусоидальность напряжения представляет собой отличие формы кривой переменного напряжения в системе электроснабжения от требуемой.

Внезапное значительное изменение напряжения в точке электрической сети ниже уровня за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от миллисекунд до нескольких десятков секунд относится к провалам напряжения. Экспериментальным путем с помощью программы Matcad была получена характеристика провала напряжения с переходом напряжения на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком напряжения (рисунок 6).

Провал напряжения характеризуется показателем длительности провала напряжения.

Длительность провала напряжения  $\Delta t_n$  вычисляют по формуле:

$$\Delta t_n = t_k - t_n,$$

где  $t_k, t_n$  – начальный и конечный моменты времени провала напряжения.

Качество считают соответствующим, если наибольшее значение из всех измеренных в течение продолжительного периода наблюдения (как правило, в течение года) длительностей провалов напряжения не превышает предельно допустимого.

Глубину провала напряжения  $\delta U_n$  (рисунок 6) определяют следующим образом:

- измеряют среднеквадратичные значения напряжения  $U$  за каждый полупериод основной частоты во время провала напряжения;
- определяют минимальное из всех измеренных среднеквадратичных значений напряжения  $U_{\min}$ ;

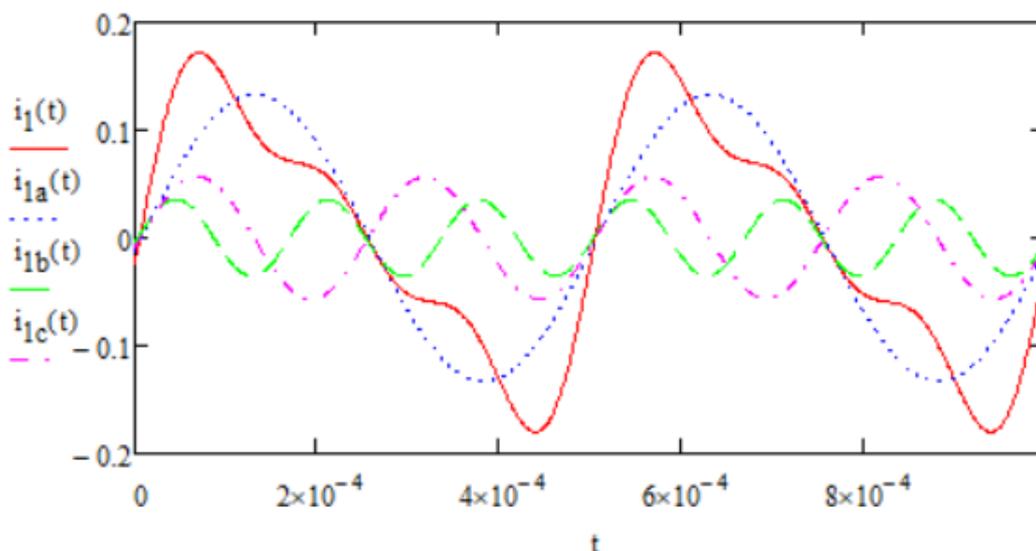


Рисунок 6 - Иллюстрация провала напряжения (а) и оциллограмма провала напряжения с переходом напряжения на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком с высокочастотными составляющими (б)

Кривые напряжения в трехфазной системе напряжения характеризуются тем, что сдвинуты на одну треть периода относительно друг друга –  $2 / 3 \pi$ . Гармоники

классифицируются по трем параметрам: порядку, типу последовательности и частоте. Основная частота в сети 50 Гц, порядок гармоники показывает число, во сколько раз частота гармоники превышает основную частоту [4-5].

Вычисляют  $\delta U_n$  (%) по формуле:

$$\delta U_n = \frac{U_{ном} - U_{мин}}{U_{ном}} \cdot 100;$$

Вычисляют частоту появления провалов напряжения  $F_n$  (%):

$$F_n = \frac{m(\delta U_n, \Delta t_n)}{M} \cdot 100,$$

где  $m(\delta U_n, \Delta t_n)$  – число провалов напряжения глубиной  $\delta U_n$  и длительностью  $\Delta t_n$  за период времени наблюдения  $T$ ;  $M$  – суммарное число провалов напряжения за период времени наблюдения  $T$ .

Влияние на работу электроприемников и энергосистему эти показатели оказывают разное. Токи, вызванные искажением синусоидальности кривой, влияют на изменение потерь в сети и в электроприемниках. Также проявление гармонических составляющих напряжения могут вызвать резонанс в электроустановках. При возникновении резонанса, на какой либо высшей гармонике, напряжение или ток может быть больше чем ток или напряжение основной гармоники в сети. Это приводит к резонансу токов, при котором происходит дополнительный нагрев или резонансу напряжения и при котором может произойти пробой изоляции.

Поскольку различные потребители используют нелинейные нагрузки определенного вида, целесообразно рассмотреть не отдельные нагрузки, а группы потребителей, использующих различные виды нелинейных нагрузок.

**Заключение.** В результате анализа основных видов нелинейных нагрузок были выявлены основные причины отказов элементов сети и рекомендованы мероприятия для увеличения уровня качества электроснабжения. Было выявлено, что отклонения качества электрической энергии носит весьма частый характер, а именно недопустимые отклонения напряжения, несимметрия сети, колебания напряжения. Для улучшения этих показателей даны рекомендации на случай проектирования новых частей сети и мероприятия по улучшению старой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Д. В., Гольдштейн В. Г. Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов // Промышленная энергетика. 2014. №
2. Якшина Н. В. Целесообразность применения трансформаторов со сниженным электропотреблением // Энергоэксперт. — 2015. — С. 4–8.
3. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. — М.: НУ ЭНАС, 2002.
4. Воротницкий В. Э., Загорский Я. Т., Апраткин В. Н. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в городских электрических сетях. — Электрические станции, 2000.
5. ГОСТ 32144—2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».