

УДК 621.314

ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

¹Матул Г.А., ²Егоров А.Н., ¹Бибихов Ю.В.

¹Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном; Мирный, e-mail: kafeiagp@rambler.ru

²СТ «Алмазавтоматика» АК «АЛРОСА» (ПАО); Мирный, e-mail: egorovan@alrosa.ru

Данная научная статья посвящена вопросам измерения электрической энергии в одном из зданий образовательного учреждения – учебного корпуса Мирнинского политехнического института. Измерения и дальнейший анализ результатов проводились согласно требованиям ГОСТ 32144-2013. Приборы были установлены в двух местах: в узле ввода учебно-лабораторного корпуса и на вводном щите одной из лабораторий. В качестве результатов измерений приведены данные, относящиеся к продолжительным изменениям характеристик и к случайным событиям: медленные изменения напряжения, колебания напряжения и фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжения, прерывания напряжения, провалы и перенапряжения, импульсные напряжения. Представлены допустимые отклонения измеряемых параметров напряжения. Рассмотрены возможные схемы подключения анализаторов качества электроэнергии к трехфазной четырехпроводной электрической сети. Представлены результаты измерений и сделаны выводы о соответствии измеренных показателей качества электроэнергии (относящихся к напряжению) требованиям ГОСТ 32144-2013.

Ключевые слова: электроэнергия, контроль качества, показатели качества, измерения, анализатор, напряжение, медленные изменения напряжения, случайные события, гармоники, провалы, лаборатория

MEASUREMENT OF ELECTRICITY QUALITY IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

¹Matul G.A., ²Egorov A.N., ¹Bebikhov Yu.V., Ph.D.

¹Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Mirny; Mirny, e-mail: kafeiagp@rambler.ru

²ST «Almazavtomatika» ALROSA LTD; Mirny, e-mail: egorovan@alrosa.ru

This scientific article is devoted to the measurement of electrical energy in one of the buildings of the educational institution - the educational building of Myrnsky Polytechnic Institute. Measurements and further analysis of the results were carried out in accordance with the requirements of GOST 32144-2013. The instruments were installed in two places: at the site of the training and laboratory building and on the opening shield of one of the laboratories. As the measurement results are given the data relating to the continuous changes in characteristics and to random events: slow voltage changes, voltage fluctuations and flicker, nonsinusoidal and unbalanced voltage, voltage interruptions, dips and overvoltages, impulse voltages. Permissible deviations of the measured voltage parameters are presented. Possible schemes of connection of power quality analyzers to a three-phase four-wire electrical network are considered. The results of measurements are presented and conclusions are drawn about compliance of the measured power quality indicators (relating to voltage) to the requirements of GOST 32144-2013.

Keywords: electric power, quality control, quality indicators, measurements, analyzer, voltage, slow voltage changes, random events, harmonics, dips, laboratory

К основным задачам измерения и анализа показателей качества электроэнергии (ПКЭ) при проведении энергетического обследования относятся: обнаружение помех и их оценка; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов; оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям; определение источника помех; проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии. Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых ПКЭ. В зависимости от длительности наблюдения можно выделить два вида организации контроля: периодиче-

ский и постоянный. Отличие постоянного контроля от периодического заключается в непрерывности времени измерений и обработки результатов [1-2].

Возможны два варианта реализации поставленной задачи по измерению и анализу ПКЭ: система мониторинга, основанная на методах виртуального моделирования физических процессов; система мониторинга, основанная на применении контрольно-измерительных приборов. На сегодняшний день методы виртуального моделирования широко применяются во всех областях науки и производства, так как они позволяют оперативно и с наименьшими затратами определить определенные параметры конечного результата [3-4]. Основным преимуществом второго варианта системы мо-

нитинга ПКЭ является высокая точность, так как метод основан на измерениях физических величин [5-6]. Также исследования направленные на использование этого метода позволяют определить принципиально новые требования к приборам учета и мероприятиям, обеспечивающим оптимизацию ПКЭ [7-22].

Объектом исследования в данной научной работе являлся учебно-лабораторный корпус Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном. Измерения показателей качества электроэнергии проводились в рамках ежегодного энергетического обследования здания. Целью проведения измерений являлась проверка работоспособности приобретенного оборудования и отработка методики измерений ПКЭ для дальнейшего использования их на объектах горных предприятий.

Измерения ПКЭ и их дальнейший анализ проводились согласно требованиям ГОСТ 32144-2013 [23-24] с использованием приборов «Ресурс-UF2M» и программного обеспечения «Ресурс-UF2Plus». Приборы были установлены в двух местах: в узле ввода учебно-лабораторного корпуса (УЛК) и на трехфазном источнике питания лабораторного стенда.

В качестве результатов измерений приведем данные, относящиеся к продолжительным изменениям характеристик и к случайным событиям: отклонение частоты, медленные изменения напряжения, колебания напряжения и доза фликера, несинусоидальность напряжения, в том числе гармонические составляющие, несимметрия напряжения, прерывания напряжения, провалы и перенапряжения, импульсные напряжения. Также покажем результаты измерения активной и реактивной мощности, коэффициента мощности, фазовых углов между током и напряжением. Измерения согласно требованиям ГОСТа проводились в течение семи дней. Для наглядного сравнения приведем данные в рабочий и выходной день.

1. Отклонение частоты: в рабочий день отклонений частоты, выходящих за требования ГОСТа, не наблюдалось; в выходной день в районе 15:00 наблюдались отклонения частоты. В этот момент времени значение частоты колебалось от 49,67 Гц до 50,74 Гц, что превышает допустимое значение на 0,34 Гц в течение 100% времени измерения.

2. Медленные изменения напряжения. Фазные напряжения: в рабочий день значе-

ния отклонения по фазе С превышают допустимое значение 10% и достигают 11,95%, что в 1,2 раза больше нормы; в выходной день превышение достигает 13,12%, что в 1,3 раза больше нормы. Показания на фазах А и В не превышают допустимого значения. Межфазные напряжения: в рабочий день значения отклонения не превышают допустимого значения; в выходной день в отдельные часы превышение допустимого значения достигает 10,84%, что в 1,08 раза больше нормы.

3. Колебания напряжения и доза фликера: в рабочий день показания кратковременной дозы фликера в целом колеблются возле нормативного значения 1,38 и лишь в районе 15:00 происходит увеличение до 1,95; в выходной день наблюдаются более частые и более сильные превышения допустимого значения, максимальная величина которых в районе 01:30 составляет 5,5 pst. Соответствие по длительной дозе фликера ни в рабочий, ни в выходной день не выполняются, величина достигает 1,18, что превышает значение 1,0 за весь интервал измерений.

4. Несинусоидальность напряжения. Коэффициенты гармонических составляющих: показания коэффициентов n -ых гармонических составляющих и суммарный коэффициент и в рабочий и в выходной дни за весь период измерений не превышал допустимых значений для всего ряда гармоник трехфазной сети. Коэффициент искажения синусоидальности: показания коэффициентов искажения синусоидальности фазных и межфазных напряжений не превышает допустимого значения, которое равно 8%.

5. Несимметрия напряжения: коэффициент несимметрии по обратной последовательности и в рабочий и в выходной дни не превышает допустимого значения, и его максимум составляет 0,9%, тогда как коэффициент несимметрии по нулевой последовательности в рабочий день превышает допустимое значение, которое составляет 4% за весь период измерения на 0,69 и составляет 4,69%.

6. Случайные события: за весь период измерений прерываний, провалов, перенапряжений и импульсных напряжений не наблюдалось.

7. Значения активной и реактивной мощности: в рабочий день значение активной мощности ярко выражено увеличивается в рабочее время с 08:30 до 17:30 в среднем с 4,5 до 9 кВт (в 2 раза), тогда как в выходной день такого значительного увеличения не происходит и лишь в период с 19:00 до

21:00 происходит увеличение в среднем с 4,5 до 6 кВт, это связано с уборкой учебных помещений.

8. Коэффициент мощности: показания коэффициента мощности, как в рабочий, так и выходной день в целом являются соответствующими требованиям и не опускаются ниже 0,93. В рабочий день в отдельные периоды времени коэффициент мощности достигает значения 1, это связано с работой большого количества люминесцентных ламп.

9. Фазовые углы между током и напряжением: показания фазовых углов между токами и напряжениями в рабочий и выходной день примерно равны и составляют по фазам А – 450, В – 150, С – 00.

В заключение подведем итоги по соответствию измеренных показателей качества электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013. В рабочий день соответствие качества электроэнергии выполняется: по отклонению частоты, по несинусоидальности напряжения, по несимметрии напряжения по обратной последовательности; не выполняется: по медленному изменению напряжения, по колебаниям напряжения и дозам фликера, по несимметрии напряжения по нулевой последовательности. В выходной день соответствие качества электроэнергии выполняется: по несинусоидальности напряжения, по несимметрии напряжения по обратной и нулевой последовательности; не выполняется: по отклонению частоты, по медленному изменению напряжения, по колебаниям напряжения и дозам фликера. Хотелось бы отметить, что прерываний, провалов, перенапряжений и импульсных напряжений, характеризующих случайными процессами в системе электроснабжения, за весь период измерения зафиксировано не было.

Таким образом, можно сделать вывод, что наблюдается существенное перенапряжение по всем фазам. Отклонения частоты скорее можно отнести к единичным случайным процессам, чем к периодическому несоответствию. Отклонение коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности имеет место быть, но величина не является критичной и обуславливается высоким значением перенапряжения. Поставленные цели и задачи измерений были достигнуты, приобретенное оборудование показало свою работоспособность, методика измерений согласно ГОСТ 32144-2013 показала хорошие результаты и дала возможности для тщательного анализа про-

веденных измерений. Такая методика может в дальнейшем использоваться на объектах горных предприятий. Работа по измерению ПКЭ при проведении энергетического обследования УЛК будет продолжена. При дальнейших измерениях будут поставлены задачи выявления причин высоких значений перенапряжения, будет проведена апробация методики длительных непрерывных измерений ПКЭ (до 1 месяца). Измерения будут проводиться в двух точках: на трансформаторной подстанции, находящейся поблизости от учебно-лабораторного корпуса, и на узле ввода УЛК.

Список литературы

1. Лейзгольд Д.Ю., Ромодин А.В., Трушников К.П. Показатели качества электрической энергии как индикаторы эффективности управления электропотреблением // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11-7. – С. 1501-1506.
2. Кузнецов Н.М., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В., Егоров А.Н., Семёнов А.С. Качество электрической энергии горных предприятий / монография. М.: Издательский дом «Академии Естествознания», 2012. – 68 с.
3. Жашкова Т.В., Семочкина И.Ю., Лепешев А.А. Разработка подсистемы нейросетевой идентификации для определения показателей качества электроэнергии // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2015. № 4 (26). – С. 240-252.
4. Дед А.В., Бирюков С.В., Паршукова А.В. Имитационное моделирование в MatLab длительных несимметричных режимов систем электроснабжения // *Омский научный вестник*. 2015. № 3 (143). – С. 248-250.
5. Гурьянов Г.В., Шелоп М.А. Система непрерывного мониторинга показателей качества электрической энергии на примере подстанций Брянской области // *Вестник МЭИ*. 2015. № 6. С. 39-43.
6. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий / монография. М.: Издательство Перо, 2013. – 142 с.
7. Бондарев В.А., Семёнов А.С. Высшие гармоники и их влияние на работу электроустановок // *Международный студенческий научный вестник*. 2016. № 3-2. С. 302-303.
8. Дубицкий М.А., Сухарева Е.А. Качество электрической энергии // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2015. № 4 (99). – С. 152-157.
9. Дубицкий М.А., Гудзь А.В. Взаимосвязь качества электрической энергии и надежности электроэнергетических систем // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2015. № 9. – С. 147-151.
10. Карагодин В.В., Пешехонов Н.Е., Ильин А.В. Качество электрической энергии и его обеспечение в системах электроснабжения // *Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского*. 2013. № 641. – С. 167-174.
11. Кузнецов Н.М., Клюкин А.М., Трибуналов С.Н. Управление энергоэффективностью и энергосбережением // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2016. № 2 (25). – С. 97-102.
12. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // *Горный журнал*. 2014. № 1. С. 23-26.
13. Кузьменко С.В., Хубиева В.М., Семёнов А.С. Внедрение энергоэффективных систем освещения в учебных помещениях ВУЗа // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12-6. С. 1103-1106.
14. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 4-1. С. 112-117.

15. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Применение активных фильтров для обеспечения качества электроэнергии / В сборнике: Молодежь в науке: новые аргументы сборник научных работ V международного молодежного конкурса. Липецк, 2016. С. 164-167.
16. Семёнов А.С., Заголило С.А. Непрерывный мониторинг показателей качества электроэнергии - залог энергоэффективности на горном предприятии / В сборнике: Молодежь в науке: новые аргументы сборник научных работ V международного молодежного конкурса. Липецк, 2016. С. 168-171.
17. Семёнов А.С. Определение нелинейных нагрузок в системе электроснабжения подземного рудника // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 9-3. С. 445-451.
18. Семенов А.С. Показатели качества электроэнергии горных предприятий – основа системы мониторинга / В сборнике: Информационные технологии в энергетическом комплексе // Сборник материалов и докладов Всероссийской научной конференции (с международным участием). 2016. С. 7-11.
19. Семёнов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 31-34.
20. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Бебихов Ю.В., Матул Г.А. Измерение и анализ показателей качества электрической энергии потребителей промышленных предприятий // Естественные и технические науки. 2015. № 6 (84). С. 480-485.
21. Семёнов А.С., Самсонов А.В., Матул Г.А., Черенков Н.С., Заголило С.А., Мартынова А.Б. Исследование качества электроэнергии при проведении энергоаудита учебного корпуса // Естественные и технические науки. 2015. № 10 (88). С. 331-334.
22. Тульский В.Н., Карташев И.И., Симуткин М.Г., Назиров Х.Б., Кузнецов Н.М. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях // Горный журнал. 2012. № 12. – С. 52-55.
23. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 2014. ФГУП «Стандартинформ». – 16 с.
24. Дед А.В., Паршукова А.В. О показателях качества электрической энергии. Нормы ГОСТ 32144-2013 // Омский научный вестник. 2015. № 137. – С. 148-150.