

обеспечить полную герметичность матрицы для проведения экспериментов при давлениях залегания исследуемых горных пород;

увеличить соотношение высоты и радиуса матрицы до оптимального значения, которое по предварительным расчетам составляет $L/r_2 \geq 20$;

обеспечить наибольшую площадь контакта термодатчика с матрицей и образцом. Так, увеличение размера зерен исследуемой горной породы уменьшает площадь контакта датчика с образцом и искажает его показания;

максимально равномерно распределить нагреватели по высоте устройства для обеспечения равномерного нагрева.

Реализация указанных выше мер по доработке устройства позволит совместно с программным комплексом достоверно определять нелинейные тепловые свойства горных пород в условиях, приближенных к пластовым.

Л и т е р а т у р а

1. Липаев А. А., Гуревич В. М., Липаев С. А. Тепловые свойства горных пород нефтяных месторождений Татарстана: Справочник. Казань: Изд-во Казан. матем. об-ва, 2001.

2. Каменщиков Ф. А. Тепловая депарафинизация скважин. М. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005.

3. Липаев А. А., Хисамов Р. С., Чугунов В. А. Теплофизика горных пород нефтяных месторождений. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003.

4. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.

5. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергия, 1975.

6. Самарский А. А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971.

7. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986.

8. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985.

9. Козлов И. А. О способе определения нелинейных тепловых свойств неконсолидированных материалов // Науч.-техн. вестник Поволжья. 2013. № 5. С. 203—208.

Дата принятия 27.11.2013 г.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

621.314

Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике

А. С. СЕМЕНОВ, Н. М. КУЗНЕЦОВ

Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, Мирный, Россия, e-mail: sash-alex@yandex.ru

Рассмотрены вопросы разработки и применения системы мониторинга показателей качества электроэнергии в подземном руднике по добыче алмазосодержащих пород. Определено оборудование таких горных предприятий, создающее электромагнитные помехи и оказывающее негативное влияние на качество электроэнергии. Проанализированы результаты измерений, полученные при использовании указанной системы мониторинга.

Ключевые слова: горное предприятие, подземный рудник, система мониторинга, показатели качества электроэнергии, электромагнитная совместимость.

The article is dedicated to the development and application of electric power quality monitoring system in the mining industry. The equipment of mining enterprises creating the electromagnetic distortion with negative impact on the quality of electric power is determined. The analysis of measurement results obtained from use of the electric power quality coefficients control monitoring system is carried out.

Key words: mining industry, underground mine, monitoring system, electric power quality, electromagnetic compatibility.

При решении вопросов эффективного использования электрической энергии (ЭЭ) значимым является анализ потребляемой ЭЭ и создание системы управления ее качеством. Результаты работы такой системы в значительной степени влияют на инвестиционные программы компаний и предприятий. Это важный этап управления при несоответствии значений существующих показателей качества электроэнергии (ПКЭ) ее нормам [1—5].

На каждом предприятии определяют параметры электроэнергетических величин, которые целесообразно контролировать для наиболее результативного управления качеством ЭЭ. Для этого выполняют работы по определению мест установки средств измерений (СИ) ПКЭ, непрерывный контроль и анализ этих показателей, полученных при проведении мониторинга. Указанные задачи решают при совместной работе специалистов энергетических служб промыш-

ленных предприятий и научно-исследовательских коллективов.

В настоящее время контроль ПКЭ на предприятиях носит краткосрочный периодический характер. Его осуществляют лишь при сертификационных, периодических и некоторых других видах испытаний в целях подтверждения соответствия обязательным требованиям. Результаты краткосрочных испытаний недостаточно полно и достоверно отражают положение в этой области [6, 7].

Для непрерывного мониторинга контроля качества ЭЭ по некоторым ее показателям требуются длительные испытания. Это прежде всего относится к параметрам временных перенапряжений и провалов напряжения. Накопление измерительной информации, характеризующей эти динамические процессы и ее статистическую обработку, нужно проводить в течение года. Только при соблюдении этого требования полученные статистические характеристики можно использовать для совершенствования и развития договорных отношений между поставщиками и потребителями ЭЭ.

Для повышения достоверности, полноты результатов, оперативности управления ПКЭ контроль должен быть непрерывным. При этом необходимо осуществлять постоянный мониторинг показателей, используя автоматизированную информационно-измерительную систему контроля качества электроэнергии (АИИС ККЭ). Такая система позволяет получить измерительную информацию для определе-

ния соответствия ЭЭ обязательным требованиям и выявить источники и причины ухудшения ее качества. Полное описание работы АИИС ККЭ представлено в [8—12].

В состав АИИС ККЭ входят: измерительные трансформаторы напряжения, измерительные трансформаторы тока; измерительно-вычислительные комплексы, т. е. измерители показателей качества электроэнергии, программно-технические комплексы контроля качества электроэнергии; линии связи между измерительными трансформаторами и измерителями ПКЭ; модемы, аппаратура и сети Ethernet, концентраторы; серверы данных, станции сбора данных, рабочие станции с установленным системным и прикладным программным обеспечением.

Для измерения ПКЭ на объектах подземного рудника использовали скиповую подъемную установку скипового ствола и шаровую мельницу участка технологического закладочного комплекса. Измеряли следующие показатели: действующее напряжение и напряжение основной частоты; установившееся отклонение напряжения; частоту; коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям, искажения синусоидальности кривой напряжения, n -й гармонической составляющей напряжения, временного перенапряжения; отклонение частоты; длительности провала напряжения, временного перенапряжения; глубину провала напряжения; размах изменения напряжения; кратковременную и длительную дозу фликера; угол фазово-

го сдвига между фазными напряжениями основной частоты; активную, реактивную и полную мощность.

При измерениях применяли трехфазную четырехпроводную систему, как наиболее соответствующую схемам подключения трансформаторов тока и напряжения на указанных объектах. В анализаторах Ресурс-UF2, кроме используемой, предусмотрены следующие варианты схем измерения: трехфазная трехпроводная схема с трансформаторами напряжения и тока, трехфазная четырехпроводная схема при прямом измерении напряжения и тока, трехфазная трехпроводная схема с двумя трансформаторами напряжения и тока, однофазная схема измерения с одним трансформатором тока. Также предусмотрено совместное подключение измерителя и счетчика электрической энергии.

Измерения проводили с интервалом 1 с, и они имели очень большой объем. Для усреднения точных графиков с интервалом измерения 1 мин применяли методику обработки и анализа результатов ПО «Ресурс» UF2Plus. Графики измеренных и обработанных ПКЭ на скиповой подъемной установке скипового ствола подземного рудника описаны в [13].

На рис. 1, 2 изображены графики отклонения напряжения и коэффициентов гармонических составляющих.

Из анализа результатов измерений можно сделать следующие выводы: отклонения фазных и межфазных напряжений (см. рис. 1) превышают допустимое значение 5 %, но не более критического значения, равного 10 % от номинала;

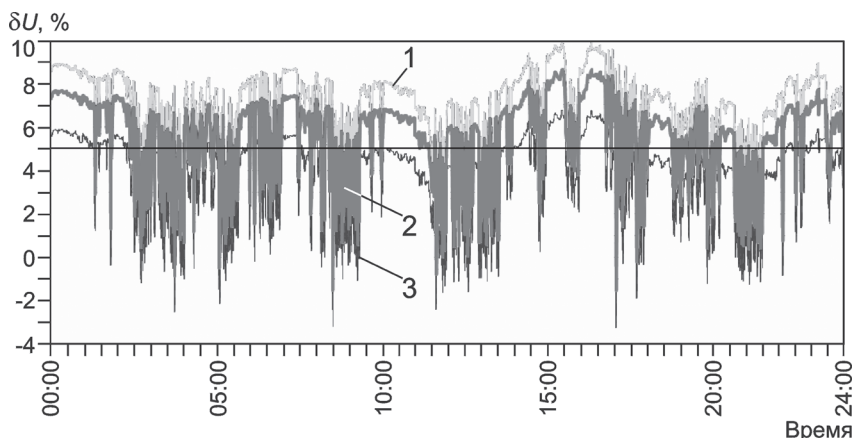


Рис. 1. Графики отклонения напряжений:

1, 2, 3 — отклонения по фазе A, B, C, соответственно

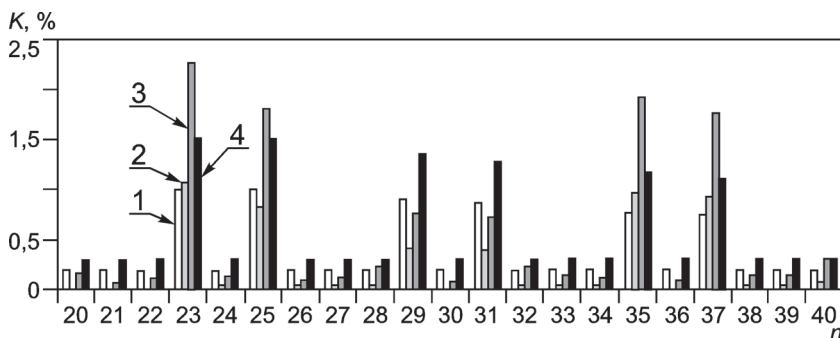


Рис. 2. Коэффициенты n -ых гармонических составляющих напряжения:

1 — номинально допустимое значение; 2 — верхнее значение; 3 — наибольшее значение; 4 — предельно допустимое значение

отклонения частоты находятся в пределах нормы и не превышают допустимых 0,2 Гц; коэффициент мощности установки не снижается ниже 0,8, что является приемлемым показателем; коэффициенты искажения синусоидальности фазных и межфазных напряжений немного больше 3 % и, таким образом, находятся в пределах допустимых значений; коэффициенты 23-й и 25-й гармонических составляющих (см. рис. 2) превышают предельно допустимые значения, равные 1,5 %, на 0,75 и 0,35 %, соответственно, и составляют 2,25 и 1,85 %, что больше номинального допустимого значения, равного 1 %, в 2,25 и 1,85 раза, соответственно; коэффициенты 35-й и 37-й гармонических составляющих превышают предельно допустимые значения, равные 1,15 и 1,10 %, на 0,8 и 0,65 %, соответственно, и составляют 1,95 и 1,75 %, что превышает номинально допустимое значение, равное 0,75 %, в 2,6 и 2,3 раза, соответственно; сигналы тока и напряжения при провалах и перенапряжениях имеют сильно искаженную синусоидальную форму, что обусловливается нестабильной работой электрооборудования при таких режимах.

При сравнении результатов измерений ПКЭ, проведенных на скиповой подъемной установке скипового ствола и шаровой мельнице участка технологического закладочного комплекса подземного рудника по добыче алмазосодержащих пород, можно сделать следующие выводы: на скиповой подъемной установке наблюдаются частые перенапряжения, иногда достигающие 10 % от номинального значения на фазе «В», тогда как на шаровой мельнице наблюдается нехватка напряжения, приближающаяся к 9 % от номинала по фазе «С». Такие показатели объясняются более удаленным расположением шаровой мельницы от трансформаторной подстанции, нежели скиповая машина и неточным выбором сечения питающего кабеля; на скиповой подъемной установке, в отличие от шаровой мельницы, наблюдаются более высокие отклонения n -х гармонических составляющих, в частности, 23-й, 25-й, 35-й и 37-й, что обусловлено типом электропривода скиповой подъемной установки (двигатель постоянного тока с мощным преобразователем, имеющим 12-импульсную схему выпрямления) [14], тогда как на шаровой мельнице в качестве электропривода выступает синхронный двигатель с прямым пуском.

Выводы. Система мониторинга показателей качества электроэнергии позволяет при непрерывном мониторинге выявить проблемные участки и установки на горном предприятии. После обработки и анализа данных измерений можно судить о причинах ухудшения тех или иных показателей качества электроэнергии, а затем разработать рекомендации для соответствующих энергетических служб горных предприятий по устранению обнаруженных недостатков.

На рассматриваемом подземном руднике по добыче алмазосодержащих пород для скиповой подъемной установки в случае возникновения превышения показателей перенапряжения более чем на 10 % от номинального рекомендовано установить ограничители перенапряжения на ячейку трансформатора, питающего электропривод скиповой машины, а для снижения отклонения гармонических составляющих ввести активные фильтры высших гармоник вместо пассивных фильтро-компенсирующих установок, используемых в настоящее время [15]. Для шаровой мельницы предложено пересчитать сечение кабеля, питающего ее ячейку и, если это значение окажется меньше установленного, заменить кабель для выравнивания напряжения до номинального значения [16].

Данная статья выполнена в рамках проекта «Разработка математической модели оценки влияния работы электроустановок на качество электрической энергии», разрабатываемого при поддержке гранта ректора СВФУ для студентов и молодых ученых на 2013 г.

Литература

1. **ГОСТ 13109—97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. **ГОСТ Р 53333—2008.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. **ГОСТ Р 54149—2010 (EN 50160:2010).** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. **ГОСТ Р 51317.4.30—2008 (МЭК 61000-4-30:2008).** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии.
5. **ГОСТ Р 51317.4.7—2008 (МЭК 61000-4-7:2002).** Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.
6. **Кузнецов Н. М. и др.** Качество электрической энергии горных предприятий: Монография. М.: Изд. дом «Академии Естествознания», 2012.
7. **Карташев И. И. и др.** Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий: Монография. М.: Перо, 2013.
8. **Кузнецов Н. М., Семенов А. С.** Система мониторинга показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: Сб. статей III Международ. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. С. 35—37.
9. **Кузнецов Н. М., Семенов А. С.** Система мониторинга показателей качества электроэнергии применительно к алмазодобывающему подземному руднику // В мире научных открытий: Материалы IV Международной научно-практической конференции / Под ред. С. П. Акутиной. М.: «Спутник +», 2012. С. 146—149.
10. **Кузнецов Н. М., Семенов А. С.** Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 4 (ч. 2). С. 295—299.
11. **Семенов А. С.** Разработка системы мониторинга показателей качества электроэнергии горных предприятий // Технические науки — от теории к практике: Материалы XI международной заочной науч.-практ. конф. / Под ред. Я. А. Полонского. Новосибирск: Сибирская ассоциация консультантов, 2012. С. 66—71.
12. **Semenov A. S.** Development of monitoring system for measuring the quality of electrical energy on the mining industry. // Applied and Fundamental Studies: Proc. 1st Int. Acad. Conf. St. Louis (USA), 2012. V. 1. P. 301—304.

13. Семенов А. С. Анализ показателей качества электроэнергии потребителей подземного рудника // Метрология — Измерения — Учет и оценка качества электрической энергии: Тр. 6-й Всерос. науч.-техн. конф.: СПб., 2013. С. 240—251.

14. Козярук А. Е и др. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 6. С. 30—35.

15. Карташев И. И. и др. Оценка работы фильтров в системе электроснабжения горнодобывающего предприятия по результатам контроля качества электроэнергии // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 7. С. 16—19.

16. Тульский В. Н. и др. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях // Горный журнал. 2012. № 12. С. 52—55.

Дата принятия 02.09.2013 г.

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

621.376.2

Способ снижения систематической погрешности акустооптических измерителей радиочастоты

С. С. ШИБАЕВ, А. В. ПОМАЗАНОВ, Д. П. ВОЛИК

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия, e-mail: sheab@list.ru

Предложен алгоритм калибровки акустооптических измерителей параметров радиосигналов, использующий аппроксимацию координатно-частотной кривой настройки реального измерителя ломаной линией, что снижает систематическую погрешность определения частоты.

Ключевые слова: акустооптический измеритель частоты, кривая настройки.

The calibration algorithm for reduction of systematic error of acousto-optical radiofrequency measuring instruments is suggested. It is based on the use of coordinate-frequency adjustment curve approximation with broken line.

Key words: acousto-optical radiofrequency measuring instrument, adjustment curve.

Для измерений неизвестного параметра сигнала (уровня, частоты, направления прихода и т. д.) во многих измерительных приборах используют шкалу, заданную в явной или неявной форме и проградуированную в значениях измеряемого параметра. Полученные значения параметра могут служить в качестве исходных данных для вычисления его уточненного значения. В этом случае проградуированную шкалу можно рассматривать как упорядоченную последовательность опорных значений параметра, которую с определенной точностью можно описать какой-либо зависимостью, например линейной, квадратичной и т. п. От того, насколько точно известны опорные, принадлежащие шкале значения параметра, напрямую зависит погрешность его вычисления. Эту погрешность относят к инструментальным погрешностям измерений.

Рассмотрим данный вид погрешности и способ ее уменьшения на примере акустооптического измерителя частоты (АОИЧ). Дело в том, что принцип действия АОИЧ основан на использовании соответствия между частотой подаваемого на его вход радиосигнала и пространственным положением на фотоприемнике продифрагировавшего светового сигнала в дефлекторе измерителя светового сигнала [1—4]. Пространственное положение распределения интенсивности

(РИСС) измеряется и регистрируется фотодиодами фотоприемника.

Ценное для практического использования свойство АОИЧ состоит в том, что между некоторыми частотами входного сигнала и пространственными положениями центров x_k на оси X фотодиодов с номером k существует взаимно-однозначное соответствие: при подаче на вход АОИЧ сигнала частотой f_k в точке x_k (или, что одно и то же, на выходе k -го фотодиода) регистрируется максимальный сигнал. При симметричной форме РИСС максимум светового сигнала расположен на его оси симметрии.

Частоты f_k , соответствующие k -м фотодиодам, можно рассматривать как упомянутые опорные значения измеряемого параметра или как опорные значения частот. Эти частоты называют частотами точной настройки фотодиодов, а их упорядоченную последовательность — кривой настройки (КН) АОИЧ.

В качестве фотоприемников в современных АОИЧ используют линейки приборов с зарядовой связью (ПЗС) [1—4], фотодиодные линейки и матрицы. Во всех этих устройствах фотодиоды распределены эквидистантно по пространственной координате (длине) фотоприемника. В связи с этим зависимость между k и x_k можно представить арифметической прогрессией