УДК 621. 316. : 621.311

Б.Н.АБРАМОВИЧ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Уровень качества электрической энергии (КЭ) является важным фактором обеспечения непрерывности и эффективности технологического процесса добычи, переработки и транспортировки полезных ископаемых. Обоснован способ снижения оплаты электрической энергии путем приведения фактических показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в соответствие с ГОСТ 13109-97. Предложены и экономически обоснованы структура и основные принципы проектирования комплексной системы непрерывного мониторинга ПКЭ, позволяющей производить коммерческий, технический и технологический контроль КЭ.

Power quality level (PQ) is an important factor for providing of continuity and efficiency for technological process extraction, processing, and transportation of mineral resources. The electrical power cost decreasing method by means of actual power quality factors (PQF) putting in accordance with GOST 13109-97 norms has been proved. The PQF continuous complex monitoring system structure and its basic designing principles, which allows to make commercial, technical and technological PQ control, have been offered and economically sounded.

В настоящее время на горных предприятиях суммарные затраты на оплату электрической энергии, используемой при добыче твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, составляют 15 % и более [1]. Суммарные затраты включают в себя плату за фактически потребленную электроэнергию и плату за заявленную мощность в часы максимума нагрузок энергосистемы. Величина суммарных затрат корректируется в зависимости от уровня качества электроэнергии, поставляемой сетевой энергоснабжающей кампанией. Таким образом, одним из способов снижения оплаты электрической энергии является повышение уровня качества электрической энергии и приведение его в соответствие с ГОСТ 13109-97 [2].

Уровень качества электрической энергии (КЭ) является важным фактором обеспечения непрерывности технологического процесса, повышения надежности функционирования основного оборудования электротехнического комплекса, устройств автоматики и средств связи. При выходе показателей качества электрической энергии (ПКЭ) за допустимые ГОСТ 13109-97 пределы снижается качество выпускаемой продукции, увеличиваются энергетическая составляющая затрат на добычу и потери электроэнергии в электротехническом комплексе, уменьшается срок службы обору-

дования, снижается его производительность, что требует применения оборудования большей мощности. Регулирующий эффект потребляемой активной мощности по напряжению на горных предприятиях достигает 1 % и более, реактивной мощности – (4-8) %. Это означает, что при повышении напряжения на электроустановке на 15 % потребляемые активная мощность возрастает на 15 % и более, реактивная мощность – на (60-120) % практически при одной и той же полезной работе.

При повышении напряжения на 10 % от номинального значения срок службы ламп накаливания сокращается в три раза. Снижение напряжения на 10 % приводит к уменьшению максимального момента асинхронных двигателей на 19 %. В электрических печах сопротивления понижение напряжения вызывает снижение производительности, а повышение – уменьшение срока службы нагревательного элемента печи; в электролизном производстве снижение напряжения на 10 % приводит к снижению производительности электролизных ванн на 10 %. Искажение синусоидальности кривой напряжения является причиной ускоренного старения изоляции электрооборудования, увеличения потерь активной мощности, снижения вращающего момента электродвигателей и других отрицательных явлений. Поэтому при отклонении фактических значений показателей КЭ от установленных ГОСТ 13109-97 норм стоимость электрической энергии, поставляемой энергоснабжающей организацией потребителю, должна корректироваться в сторону уменьшения в соответствии с договорными обязательствами.

Положения договоров между энергоснабжающей организацией и потребителем должны быть составлены в соответствии с законодательными актами и действующими положениями РФ:

- статьей 7 Закона Российской Федерации «О защите прав потребителей»;
- Постановлением Правительства РФ от 13.08.97 № 1013 «Об утверждении перечня товаров, работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации»;
- статьей 542 Гражданского кодекса РФ;
- Положением о лицензировании деятельности по продаже электрической энергии, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации;
- Правилами функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 31 августа 2006 г., № 530.

ГОСТ 13109-97 устанавливает 11 основных и шесть дополнительных показателей, характеризующих качество электрической энергии. Для предприятий по добыче твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых с учетом специфики преобразования электроэнергии в другие виды энергии наибольшую значимость имеют следующие ПКЭ:

- установившееся отклонение напряжения;
- коэффициент *n*-й гармонической составляющей напряжения;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонение частоты;
- длительность провала напряжения.

Реализация положения о взаимосвязи ПКЭ и затрат на оплату за электроэнергию может быть достигнута при наличии на предприятии комплексной системы непрерывного мониторинга ПКЭ, позволяющей производить коммерческий, технический и технологический контроль КЭ, в том числе периодический контроль при рассмотрении претензий к КЭ. Рассмотрим основные положения, которым должна удовлетворять комплексная система непрерывного мониторинга ПКЭ.

Выбор пунктов контроля качества электрической энергии в электрических сетях горных предприятий должен производиться в соответствии с [3], исходя из следующих рекомендаций:

Таблица 1

Метрологические характеристики средств измерений

Измеряемая величина	Метрологические характеристики			
	Диапазон измерений в единицах измеряемой величины	Предел абсолютной допускаемой погрешности в единицах измеряемой величины	Предел относительной допускаемой погрешности, %	Интервал усреднения, с
Установившееся отклонение напряжения, %	От –20 до 20	± 0,2* ± 0,5**		60
Коэффициент *n*-й гармонической составляющей напряжения, %	От 0 до 15	± 0,05 при $K_{U(n)} < 1$	± 5 при $K_{U(n)} > 1$	3
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, %	От 0 до 15	± 0,1 при $K_U < 1$	± 10 при $K_U > 1$	3
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, %	От 0 до 5	± 0,2* ± 0,3**	–	3
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, %	От 0 до 5	± 0,2* ± 0,5**	–	3
Отклонение частоты, Гц	От 49 до 51	± 0,03	–	20
Длительность провала напряжения, с	От 0,01 до 60	0,01	–	–

* Для средств измерений, подключаемых к выходам измерительных трансформаторов напряжения;
** Для средств измерений, подключаемых непосредственно к электрическим сетям 380, 220 В;

• в качестве пунктов контроля КЭ закупаемой горным предприятием электроэнергии следует выбирать точки коммерческого контроля или иные пункты, ближайшие к границе раздела балансовой принадлежности пункты, в которых может быть осуществлен контроль КЭ;

• в качестве пунктов контроля установившегося отклонения напряжения (дополнительно к пункту контроля закупаемой ЭЭ) рекомендуется выбирать выводы электроприемников, наиболее чувствительных к колебаниям и потере напряжения;

• в качестве пунктов контроля показателей несинусоидальности и коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности рекомендуется выбирать точки общего присоединения, в которых подключены нелинейные и несимметричные электроприемники;

• в качестве пунктов контроля коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности следует выбирать шины 0,4 кВ трансформаторов 35/6(10)/0,4 кВ, питающих одновременно трехфазную и однофазную нагрузки.

Периодический контроль КЭ рекомендуется производить таким образом, чтобы общая продолжительность непрерывного процесса контроля ПКЭ составляла 7 сут. Соответствие ПКЭ установленным нормам проверяется по результатам их измерений за каждые 24 ч в отдельности. При этом суммарный перерыв в измерениях ПКЭ за сутки, включая длительность провалов, перенапряжений и отключений прибора, должен составлять не более 5 мин. Интервал между очередными измерениями ПКЭ при периодическом контроле КЭ устанавливается энергоснабжающей организацией.

Погрешность измерений должна соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 13109-97, пункты 7.1 и 7.2. При всех видах испытаний, контроля и измерений КЭ, за исключением технологического контроля, должны использоваться средства измерений, имеющие метрологические характеристики не хуже указанных в табл.1 (K_U, $K_{U(n)}$ – соответственно коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент *n*-й гармонической составляющей напряжения).

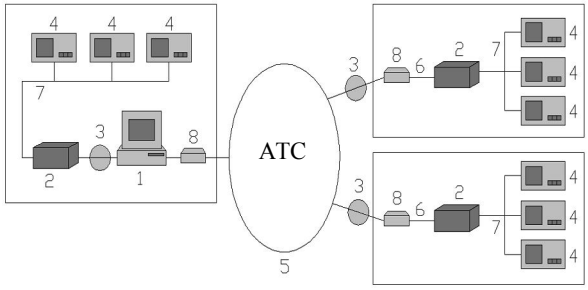
Средства измерений должны производить усреднение измеряемых ПКЭ с использованием прямоугольного измерительного окна с шириной 0,32 с (без пробелов между окнами) или измерительного окна Хеннинга с шириной, равной 0,4-0,5 с, с перекрытием смежных окон на 50 %.

При разработке комплексной системы контроля ПКЭ составляется структурная схема измерений (см. рисунок), производится выбор типов и расстановка измерительных приборов контроля ПКЭ, выбор способов и средств передачи данных о ПКЭ в диспетчерский пункт. Структурная схема позволяет осуществить дистанционный опрос одного или группы измерителей ПКЭ, объединенных по интерфейсу RS-485. Опрос может быть также организован по коммутируемой линии связи ведомственной связи, GSM сети через преобразователь интерфейсов RS-485/RS-232 или, в случае необходимости получения данных от одного измерителя – непосредственно по интерфейсу RS-232. Это позволяет осуществлять оперативный сбор информации и централизованный анализ данных о ПКЭ, получить полную картину протекающих в системе процессов, снизить затраты на эксплуатацию системы за счет отсутствия необходимости выездов на подстанции.

Измерительные приборы, используемые в комплексной системе контроля ПКЭ, должны пройти процедуру сертификации в Госстандарте РФ. Основные параметры и характеристики ряда сертифицированных на территории РФ приборов контроля ПКЭ приведены в табл.2 [5]. Окончательный выбор типа прибора контроля ПКЭ производится на основании результатов сопоставления их технико-экономических характеристик.

Обработка данных о ПКЭ выполняется посредством специализированного программного обеспечения в соответствии с методическим указаниями по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, утвержденными Госэнергонадзором РФ [4].

Анализ фактических параметров качества электрической энергии при нарушении требований к ПКЭ включает следующие операции:



Структурная схема измерения ПКЭ

1 – диспетчерский пункт; 2 – преобразователь интерфейсов RS-485/ RS-232; 3 – узел опроса; 4 – прибор контроля ПКЭ; 5 – GSM; 6 – кабель RS-237; 7 – интерфейс RS-485; 8 – модем или GSM-терминал

• установление причин несоответствия фактических параметров качества нормам ГОСТ 13109-97;

• выявление объектов, режимы работы электрооборудования которых обусловили появление несоответствия в центрах электроснабжения и у отдельных потребителей.

Причины несоответствий устанавливаются с использованием следующих источников информации:

• проектная документация и технические условия на проектирование, реконструкцию и на развитие системы электроснабжения и электрических сетей предприятия;

• данные о фактических электрических нагрузках потребителей, отдельных электроустановок и субпотребителей в часы максимума и минимума нагрузки энергосистемы в рабочие, выходные и праздничные дни и соответствующие сезоны года;

• расчеты режимов работы электрических сетей, в том числе с нагрузками искажающих потребителей для нормальных и ремонтных схем электроснабжения;

• технические условия и заключенные договора на электроснабжение предприятия.

Изложенные положения были апробированы при разработке комплексной системы непрерывного мониторинга ПКЭ, технического и технологического контроля КЭ для ОАО «Татнефть». В результате анализа системы электроснабжения ОАО «Татнефть» и оценки целесообразности контроля качества электрической энергии предусмотрена установка 56 стационарных приборов контроля качества электрической энергии

Таблица 2

Основные параметры и характеристики сертифицированных на территории РФ приборов контроля ПКЭ

Тип анализатора ПКЭ	Норма по ГОСТу	Энергомонитор 3.3	Ресурс-UF2	ПАРМА РК 3.01	ЭРИС-КЭ.04
Установившиеся отклонение напряжения dU_y, %	± 5-± 10; ± 0,5 абс.	До –100-+40; ± 0,2 абс.	–20-+ 20; ± 0,2 абс.	± 30; ± 0,2 абс.	–20-+ 20; ± 0,2 абс.
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U, %	± 3,0 – ± 12,0; ±10 отн.	0-49,9; ± 0,05 абс. при $K_U < 1,0$; ± 5 отн. при $K_U > 1,0$	0,1-30, ± (0,05 + 0,02K_U) абс.	0-30; $K_U < 1$ ± 0,1 абс.; ± 10 отн.	0,1-15; ± 0,05
Коэффициент n-й гармонической составляющей напряжения, n = 2-40, $K_{U(n)}$	± 0,2-± 6; ± 0,05 при $K_{U(n)} < 1,0$ абс. ± 5 при $K_{U(n)} \geq 1,0$ абс.	0-49,9	0,05-30 | $2 < n < 10$ 0,05-20 | $10 < n < 20$ 0,05-10 | $20 < n < 30$ 0,05-5 | $30 < n < 40$	0,05-30,00	0-10 для $n < 16$ 0-5 для $n < 30$ 0-2 для $n \geq 30$
		± 0,05 абс. при $K_{U(n)} < 1,0$ ± 5 отн. при $K_{U(n)} > 1$	± (0,03 + 0,02 $K_{U(n)}$)	$K_{U(n)} < 1$; ± 0,05 абс.; ± 5 отн.	± 0,05
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U}, %	± 2,0-± 4,0; ± 0,3 абс.	0-50; ± 0,2 абс.	0-20; ± 0,2 абс.	0-30; ± 0,3 абс.	0,1-15; ± 0,2
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}, %	± 2,0-± 4,0; ±0,5 абс.	0-50; ± 0,2 абс.	0-20; ± 0,2 абс.	0-30; ± 0,5абс.	0,1-15; ± 0,2
Отклонение частоты, Гц	± 0,2-± 0,4; ± 0,03 абс.	–5-+ 25; ± 0,01 абс.	–5; ± 0,02 абс.	–5; ± 0,02 абс.	–3-+ 3; ± 0,02

типа «Ресурс-UF2С» в 24 центрах питания. В результате мониторинга КЭ было выявлено несоответствие фактических значений ПКЭ установленным ГОСТ 13109-97 как на границе раздела между энергоснабжающей организацией и потребителем, так и у отдельных электроустановок. К числу таких ПКЭ относятся установившееся отклонение напряжения и коэффициенты искажения синусоидальности кривой напряжения и отдельных гармонических составляющих напряжения. Например, напряжение на шинах 6 кВ промысловых подстанций на 5-9 % выше номинального в течение 50 % длительности контролируемого периода, что приводило к увеличению потребления активной мощности и дополнительным потерям электроэнергии в электротехническом комплексе ОАО «Татнефть». Это позволило подтвердить экономическую эффективность внедрения комплексной системы непрерывного мониторинга ПКЭ электрической энергии.

При затратах на приобретение необходимого оборудования, монтаж и пусконаладочные работы, составляющих 9,5 млн руб., экономический эффект от внедрения комплексной системы непрерывного мониторинга ПКЭ, технического и технологического контроля КЭ в ОАО «Татнефть» может быть оценен в 15,6 млн руб. Срок окупаемости капитальных вложений не превышает 0,6 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович Б.Н.* Энергосберегающие технологии добычи, транспортировки и переработки полезных ископаемых / Наука в Санкт-Петербургском горном институте (техническом университете): Сборник научных трудов. Выпуск 1. СПб, 1997.

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы

качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Госстандарт России, 1997.

3. РД 153-34.0-15.501-00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 1. Контроль качества электрической энергии. М.: ООО «Научный центр ЛИНВИТ», 2000.

4. РД 153-34.0-15.502-02. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. М.: ООО «Научный центр ЛИНВИТ», 2002.

5. *Щигирев Е.А.* Приборы «Ресурс» для измерений показателей качества электроэнергии / Е.А.Щигирев, К.К.Романов, Е.В.Ильяшенко; Метрология электрических измерений в электроэнергетике: Сборник докладов Десятой научно-практической конференции-выставки. М.: 2007.