

Коэффициент  $k_5$  учитывает снижение  $E_{np}$  изоляции под другими факторами, такими как давление, влажность, действие агрессивных сред и т.д. и принимается равным 1,1 – 1,2. Общий коэффициент запаса в зависимости от вида изоляции и класса напряжения находится в пределах от 32 до 5 [1], для рассматриваемого случая коэффициент получился равным 7,5-8, выбрали 8.

С учетом всех коэффициентов, а также класса напряжения (220 кВ) и электрической прочности, равной 200 кВ/мм для полиимидной пленки толщиной в 160 мкм,  $E_{раб}$  получается равным 25 кВ/мм.

В большинстве случаев важны максимальная  $E_{max}$  и минимальная  $E_{min}$  величины напряженности электрического поля.

Выбрав рабочую напряженность поля, определим внешний радиус изоляции по соотношению

$$R_2 = R_1 \exp \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} E_{раб}} \frac{1}{R_1}, \quad (2)$$

где  $R_2$  и  $R_1$  – внутренний и внешний радиусы изоляции;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение кабельной линии.

Внутренний радиус изоляции равен внешнему радиусу полупроводящего экрана по токопроводящей жиле. Полупроводящий экран или слой полупроводящего покрытия токопроводящей жилы применяется для уменьшения влияния проволочности и исключения частичных разрядов между жилой и изоляцией. Материал полупроводящего экрана должен иметь хорошую адгезию к изоляции, а температурные коэффициенты расширения экрана и изоляции должны быть равны. Полупроводящий материал получают путем введения в него мелкодисперсной сажи. Толщину полупроводящего экрана принимают в пределах 0,2 – 0,8 мм в зависимости от технологии ее наложения. Для рассматриваемого случая толщина полупроводящего полиимида алициклического строения равна 0,2 мм. Формула (2) применяется для расчета негра-

дированной изоляции с круглыми жилами. Рассчитанный по данной формуле внешний радиус по изоляции для жилы радиусом 5 мм равен 13,8 мм. Толщина изоляции в этом случае равна 6,6 мм.

Толщина изоляции кабелей с полимерной изоляцией можно определить и по формуле

$$\Delta_{из} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} E_{раб,сп}} \frac{1}{E_{раб,сп}}. \quad (3)$$

Рассчитанная по данной методике толщина алициклической полиимидной изоляции кабеля получается равной 5 мм. С учетом коэффициента запаса принимаем толщину, равную 6,6 мм. При радиусе жилы 15 мм внешний радиус по изоляции получился равным 21,24 мм, соответственно, толщина изоляции равна 6 мм. С увеличением сечения жилы толщина изоляции уменьшается и это закономерно.

Для данного класса напряжения (220 кВ) при применении, например, бумажно-масляной изоляции толщина изоляции при радиусе жилы 5 мм равна 58,5 мм, а при радиусе жилы 15 мм толщина равна 20 мм. Из этого видно, что применение полиимидной пленочной изоляции ПИФ<sub>АБ</sub> дает возможность снизить толщину в 4-10 раз по сравнению с бумажно-масляной изоляцией.

#### Выводы

1. Изоляция из полиимидных пленок ПИФ<sub>АБ</sub> по электрическим и механическим характеристикам не уступает существующей полиимидной изоляции ароматического строения и может быть использована при проектировании и производстве высоковольтных электрических кабелей.

2. Применение полиимидной пленочной изоляции ПИФ<sub>АБ</sub> дает возможность снизить толщину в 4-10 раз по сравнению с бумажно-масляной изоляцией.

3. Применение изоляции на основе пленок ПИФ<sub>АБ</sub> позволяет существенным образом повысить технико-экономические характеристики современных кабелей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. М.: Энергоиздат. 1981. 392 с.
2. Жубанов Б.А., Кравцова В.Д., Бекмагамбетова К.Х. Новые полимерные системы на основе алициклических полиимидов // Журнал прикладной химии. РФ. М.: 2006. Т. 79. Вып 11. С. 1890-1891.
3. Гнедин А.А., Мещанов Г.И. Обмоточные провода с пленочной изоляцией // Электротехн. пром-сть. Сер. 19. Кабельные изделия. Обзор. иформ. 1987. Вып. 2 (7). 67 с.
4. Жубанов Б.А., Бекмагамбетова К.Х., Кравцова В.Д., Пленки из алициклических полиимидов и их основные электрические свойства // Химический журнал Казахстана. Алматы. 2009. №3. С. 68-91.

**УДК 658.26**

**САГИТОВ П.М.,  
САДЫМБЕК А.Т.**

#### Подтверждение соответствия качества электрической энергии и защита прав потребителей

Для обеспечения защиты интересов потребителей в вопросах качества электрической энергии, устранения технических барьеров в торговле, обеспечения конкурентоспособности электрической энергии на внутреннем и внешнем рынках и создания необходимых условий для деятельности физических и юридических лиц на едином товарном рынке Казахстана, а

также для участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле назрела необходимость разработки организационно – технических и правовых основ подтверждения соответствия качества электрической энергии в Казахстане.

В Республике Казахстан приняты законы «О тех-

ническом регулировании», «О защите прав потребителей» [1,2], однако по настоящее время не осуществляют сертификацию электрической энергии, нет национальных стандартов, гармонизированных с международными, так как она отсутствует в перечне товаров, подлежащих к обязательной сертификации [3].

Нормативные документы в области электроэнергетики и электротехники, используемые в странах СНГ, в том числе и ГОСТ 13109-97 [4], гармонизированный с международными стандартами, относят вопросы качества электрической энергии (КЭ) к общей проблеме обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, например, в Российской Федерации [5] электрическая энергия включена в этот перечень, и качество её как товара, продаваемого энергоснабжающей организацией потребителю, согласно Гражданскому Кодексу РФ (2, ст. 542), должно соответствовать требованиям, установленным государственными стандартами. При значительном росте тарифов на электрическую энергию вопросы обеспечения качества порождают в условиях рыночной экономики чёткое обозначение взаимных обязательств и взаимоотношений между энергоснабжающей организацией (гарантирующим поставщиком) и потребителем. Вводится классификация потребителей на искажающие КЭ и неискажающие на основе соотношения разрешённой мощности потребителя на присоединение к мощности короткого замыкания в точке общего присоединения (ТОП) для определения ответственности сторон за поддержание КЭ в ТОП в установленных пределах.

Если потребитель является неискажающим, то энергоснабжающая организация несёт всю ответственность за поддержание в ТОП всех показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в установленных пределах; если искажающий, то ответственность за поддержание в ТОП в установленных пределах тех ПКЭ, по которым данный потребитель признан искажающим, несёт сам потребитель. Для искажающего потребителя устанавливается диапазон допустимого долевого вклада в искажение того или иного ПКЭ в ТОП от минимально допустимого до максимально допустимого. Минимальный устанавливается пропорционально разрешённой мощности потребителя и предоставляется потребителю на весь срок действия выданных технических условий на присоединение. Максимальный – исходя из фактических условий, присущих данной ТОП, и действует до тех пор, пока значения ПКЭ в ТОП не превысят норм ГОСТ 13109-97.

Установление максимально допустимого вклада ограничивает возможность энергоснабжающей организации распоряжаться по своему усмотрению запасом, который она имеет по отдельным ПКЭ (в пределах норм ГОСТ), уравнивает права всех потребителей, искажающих КЭ, делает процедуру выяснения конфликтных ситуаций «прозрачной». Если суммарный уровень фактических искажений в ТОП превышает нормы стандарта, то энергоснабжающая организация обязана рассмотреть все возможные мероприятия по снижению уровня искажений в ТОП, в первую очередь – малозатратные. Если с их помощью не удастся

снизить уровень искажений в ТОП, то именно она направляет уведомление всем искажающим потребителям о необходимости внесения инвестиций на технические мероприятия по снижению искажений пропорционально доле их (потребителей) фактических искажений.

ГОСТ 13109-97 устанавливает показатели и нормы КЭ в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трёхфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей. ГОСТ устанавливает 11 основных ПКЭ: установившееся отклонение напряжения  $\delta U_y$ ; размах изменения напряжения  $\sigma U_t$ ; доза фликера  $P_f$ ; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$ ; коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$ ; коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$ ; коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ ; отклонение частоты  $\Delta f$ ; длительность провала напряжения  $\Delta t_n$ ; импульсное напряжение  $U_{имп}$ ; коэффициент временного перенапряжения  $K_{перU}$ .

Нормируются на выводах приёмников электрической энергии нормально допустимые и предельные отклонения напряжения:  $\delta U_{у.норм} = \pm 5\%$  и  $\delta U_{у.пред} = \pm 10\%$ . Отклонения обусловлены изменением потерь напряжения, вызываемых изменением мощностей нагрузок. Наиболее эффективными средствами регулирования отклонений являются: использование трансформаторов с регуляторами напряжения под нагрузкой (РПН); использование регулируемых источников реактивной мощности; в электрических сетях напряжением до 1 кВ – выбор сечений проводников по допустимой потере напряжения.

Колебания напряжения характеризуются размахом изменения напряжения  $\delta U_t$  и дозой фликера  $P_f$ . Нормы размаха определяют зависимости  $\delta U_t$  от частоты их возникновения. Предельно допустимое значение для кратковременной дозы фликера  $P_{st}$  при колебаниях напряжения с формой, отличающейся от меандра, равно 1,38 (для ламп накаливания  $P_{st} = 1,0$ ), а для длительной дозы фликера  $P_{Lt}$  при тех же колебаниях напряжения равно 1,0 (для ламп накаливания  $P_{Lt} = 0,74$ ). Причиной возникновения колебаний напряжения является наличие потребителей электроэнергии с резкопеременным графиком потребления мощности (особенно реактивной). Наиболее эффективным средством уменьшения колебания напряжения является нормирование допустимой мощности потребителей с резкопеременным графиком нагрузки (не более 10 % от номинальной мощности питающего трансформатора). Из технических средств уменьшения колебаний напряжения можно выделить: статические быстродействующие источники реактивной мощности, обрабатывающие реальный график потребления реактивной мощности потребителем с резкопеременным графиком; установки продольной компенсации, компенсирующие часть суммарного индуктивного сопротивления сети (использование этих технических средств обходится дорого).

Несинусоидальность напряжения характеризуется

коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_U$  (являющимся отношением суммарного действующего значения всех высших гармоник к действующему значению напряжения основной гармоники) и коэффициентом  $n$ -й гармонической составляющей  $K_{U(n)}$  (являющимся отношением действующего значения напряжения  $n$ -й гармоники к действующему значению напряжения первой гармоники). Причиной возникновения несинусоидальности напряжения является наличие потребителей с нелинейной вольтамперной характеристикой. Основной вклад в несинусоидальность напряжения вносят тиристорные преобразователи. Наиболее чувствительны к несинусоидальному напряжению конденсаторы компенсирующих устройств, которые не только перегружаются токами высших гармоник, но и способствуют возникновению резонанса на одной из гармоник, сопровождающегося многократным увеличением напряжения резонансной гармоники [6]. Наиболее эффективным средством выполнения норм по несинусоидальности является нормирование мощности тиристорных преобразователей (до 10 % от мощности питающего трансформатора). Из технических средств можно выделить: увеличение числа пульсности преобразовательных агрегатов; использование токовых фильтров высших гармоник на основе емкостных и индуктивных элементов; различные схемные решения.

Допустимые значения  $K_{U_{норм}}$  и  $K_{U_{пред}}$  приведены в (таблице 1).

Таблица 1

$K_{U_{норм}}$ % при $U_{ном}$ , кВ				$K_{U_{пред}}$ % при $U_{ном}$ , кВ			
0,38	6-20	35	110-220	0,38	6-20	35	110-220
8,0	5,0	4,0	2,0	12,0	8,0	6,0	3,0

Несимметрия трёхфазной системы напряжений характеризуется коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ . Допустимые значения этих показателей следующие: в нормальном режиме  $K_{2U_{норм}} = K_{0U_{норм}} = 2\%$ ; предельно-допустимые нормы  $K_{2U_{пред}} = K_{0U_{пред}} = 4\%$ . Основной причиной возникновения несимметрии являются потребители с несимметричным потреблением мощности по фазам (однофазные потребители, трёхфазные с несимметричным потреблением мощности по фазам). Наиболее чувствительна к несимметрии напряжения электродвигательная нагрузка, обладающая малым сопротивлением обратной последовательности.

Область допустимых несимметричных режимов может быть оценена по максимально допустимой однофазной нагрузке, при которой показатели несимметрии не выходят за пределы нормы в нормальном режиме. При преобладающей неподвижной нагрузке максимально допустимая однофазная нагрузка составляет 10 % от номинальной мощности питающего трансформатора; при преобладании электродвигательной – 20 % [7, 8]. Таким образом, электродвигательная нагрузка, являясь наиболее чувствительной к несимметрии напряжения, одновременно способствует увеличению доли допустимой однофазной нагруз-

ки. Из технических средств уменьшения выделяется использование симметрирующих устройств. Теоретически при любой несимметричной нагрузке можно создать симметрирующие устройства на базе емкостных и индуктивных элементов, которые полностью компенсируют напряжения обратной и нулевой последовательности на нагрузке. Однако реальная несимметрия напряжения нестационарна, а регулируемые симметрирующие устройства сложны, дороги и их применение порождает новые проблемы (в частности, несинусоидальность напряжения). Поэтому положительного опыта использования симметрирующих устройств в странах СНГ нет.

Отклонение частоты характеризует разность между действительным и номинальным значениями частоты напряжения в системе электроснабжения. Нормы составляют:  $\Delta f_{норм} = \pm 0,2$  Гц;  $\Delta f_{пред} = \pm 0,4$  Гц.

Провал напряжения является кратковременным снижением напряжения, характеризуемым глубиной  $\Delta U_n$  и длительностью  $\Delta t_n$ . Глубина провала напряжения может изменяться от 10 до 100%, длительность – от сотых до нескольких десятых секунды (в некоторых случаях – секунды). Основной причиной появления провалов напряжения в системе электроснабжения являются короткие замыкания в отходящих от цепи питания данного узла нагрузки ответвлениях электрической сети высокого (35-220 кВ), среднего (6-10 кВ) напряжений и в сетях с напряжением до 1 кВ [9]. Провалы напряжения не нормируются, поскольку они неизбежны настолько, насколько неизбежны короткие замыкания. Однако знать статистику по частоте, глубине и длительности провалов напряжения в системе электроснабжения необходимо для аргументированного использования агрегатов и источников бесперебойного питания с целью электроснабжения особенно чувствительных к провалам напряжения потребителей.

Импульсное напряжение – величина, равная максимальному мгновенному значению напряжения в электрической сети в течение времени существования импульса напряжения (резкое изменение напряжения, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему значения за промежуток времени до нескольких миллисекунд). В электрическую сеть 220/380 В может проникать импульсное напряжение величиной до 3-6 кВ. Причинами возникновения импульсов напряжения являются: все виды грозных перенапряжений [10], коммутационные [11] и резонансные перенапряжения. Наиболее чувствительны к импульсным напряжениям электронные и микропроцессорные элементы систем управления и защиты, компьютеры, серверы и компьютерные станции. Основным способом защиты от импульсных напряжений является использование ограничителей перенапряжения на основе металлооксидных соединений.

В стандарте указаны наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ: энергоснабжающая организация – отклонения напряжения и частоты, провалы напряжения, импульсное напряжение, перенапряжения; потребители-колебания напряжения, несинусоидальность напряжения, несимметрия напряжения. Для

проверки соответствия действительных значений ПКЭ (кроме  $\Delta t_n$ ,  $U_{изм}$ ,  $K_{перл}$ ) в ТОП нормам ГОСТ 13109-97 стандарт устанавливает минимальный интервал времени измерений, равный 24 ч. Рекомендуемая общая продолжительность измерений – 7 суток. Контроль КЭ проводят энергоснабжающие организации. Периодичность контроля: для отклонений напряжения – не реже двух раз в год, а при наличии автоматического встречного регулирования в центре питания – не реже одного раза в год. Остальные ПКЭ – не реже одного раза в два года. Потребители, ухудшающие ПКЭ, должны проводить контроль в точках собственных сетей, ближайших к ТОП, а периодичность контроля согласовывать с энергоснабжающей национальной организацией.

Одним из способов снижения уровней электромагнитных помех в цеховых электрических сетях напряжением до 1 кВ, не требующим значительных затрат, является включение цеховых трансформаторов на параллельную работу, что позволяет выравнивать суммарные графики нагрузки, повышать загрузку трансформаторов при уменьшении их числа по сравнению со схемой раздельной работы, уменьшать число переключений регулируемых конденсаторных установок 0,4 кВ, обеспечивать более высокую чувствительность и надежность срабатывания релейных защит, а также снижать колебания, несимметрию, несинусоидальность и провалы напряжения в цеховых электрических сетях [9, 10, 11].

В настоящее время известно несколько схем параллельной работы цеховых трансформаторов (ЦТ), позволяющих улучшить показатели качества электрической энергии в цеховой электрической сети [7], в том числе снизить провалы напряжения [9]. Условно эти схемы можно разделить на две группы: схемы параллельной работы ЦТ, питающихся от одного источника, и схемы параллельной работы ЦТ, питающихся от разных источников.

#### Выводы

В соответствии с законами РК в перечень хозяйственных товаров, подлежащих обязательной сертификации, необходимо ввести электрическую энергию и утвердить Постановлением Правительства РК. Необходимо разработать государственный стандарт, гармонизированный с межгосударственным и международными стандартами, устанавливающий показатели и нормы качества энергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей.

Разработать методику измерения качества электроэнергии в системах электроснабжения. Создать орган по подтверждению соответствия качества электрической энергии как товара, продаваемого энергоснабжающей организацией потребителю.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон РК «О техническом регулировании». Астана: КазИнСт, 2004.
2. Закон РК «О защите прав потребителей». Астана: КазИнСт, 2000.
3. Постановление Правительства РК от 20 апреля 2005, № 367 «Об утверждении перечня продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации».
4. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения».
5. Постановление Правительства РФ от 13 августа 1997 г. № 1013 «Об утверждении перечня товаров, подлежащих обязательной сертификации, и перечня работ и услуг, подлежащих обязательной сертификации».
6. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
7. Гамазин С.И., Садыкбеков Т.А., Переходные процессы в системах электроснабжения с электродвигательной нагрузкой. Алма-Ата: Гылым, 1991. 302 с.
8. Гамазин С.И., Анчарова Г.В., Былкин М.В., Цырук С.А. Область допустимых несимметричных нормальных режимов в системах электроснабжения // Промышленная энергетика. 2000. № 5. С. 21-27.
9. Гамазин С.И., Цырук С.А., Наумов О.А. Исследование провалов напряжения в электрических сетях до 1000 В, вызванных короткими замыканиями в сетях высокого напряжения // Промышленная энергетика. 1995. № 11. С. 12-20.
10. Гамазин С.И., Цырук С.А., Зинчук Д.Е. Импульсные напряжения в низковольтных распределительных сетях, вызванные молниеразрядами // Промышленная энергетика. 2000. № 2. С. 26-31.
11. Гамазин С.И., Цырук С.А., Зинчук Д.Е. Импульсные напряжения в низковольтных распределительных сетях, вызванные коммутационными процессами // Промышленная энергетика. 2000. № 3. С. 28-33.

**УДН 622.416-681.516.**

**ГЕРЦЕН Д.В.,  
АВДЕВ Л.А.**

#### Исследование показателей надежности автоматизированной системы контроля рудничной атмосферы для угольных шахт

В настоящее время на шахтах УД АО «Арселор-Миттал Темиртау» эксплуатируются две автоматизированные системы аэрогазового контроля:

1) Централизованная система контроля «Безопасность» предназначена для централизованного контроля текущих значений и анализа динамики изменения

параметров, характеризующих безопасность проведения работ в подземных выработках угольных шахт. Система предназначена также для многофакторного анализа на ПЭВМ первичной информации, распознавания и предупреждения опасных ситуаций, а также дисплейного представления информации диспетчеру в