

УДК 621.315

Д. Г. КАРЮК (ООО «СЛАВЭНЕРГОПРОМ»)

Общество с ограниченной ответственностью «Славэнергопром», ул. Шевченко, 49, Славянск, Украина, 84122, karuk1979@gmail.com

СТАТИСТИКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРОХОДНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

Введение

Неотъемлемым элементом любого высоковольтного подстанционного оборудования закрытого типа являются проходные изоляторы. Они используются для изоляции и ввода токоведущих частей в закрытые РУ (распределительные высоковольтные устройства) электрических подстанций и станций от воздушных линий, а так же для соединения с открытыми высоковольтными распределительными устройствами [1]. От надежной работы проходных изоляторов напрямую зависит непрерывная работа подстанции в целом.

Основная часть

В энергосистемах Украины в работе находятся более 110000 единиц распределительных высоковольтных устройств, электрических подстанций и станций класса 6-10 кВ и 3000 единиц класса 35-110 кВ, 35-150 кВ, где эксплуатируются проходные изоляторы на напряжения 6-35 кВ. Распределение трансформаторных подстанций по различным электрическим предприятиям приведено в табл. 1.

Нетрудно оценить по данным табл. 1, что в электросетях Украины на сегодня эксплуатируются не менее одного миллиона штук проходных изоляторов класса 6-35кВ. Также активно применяются проходные изоляторы на подстанциях и пунктах группировки электрифицированной железной дороги. Рассвет строительства станций и подстанций приходился на 50-е – 70-е годы прошлого века.

До 2011 года в электросистемах Украины использовались исключительно керамические проходные изоляторы типов ИП, ИПУ на напряжения 6-35 кВ. Срок службы, заявляемый производителем, изоляторов проходных керамических на напряжения 10-35 кВ не более 30 лет. Можно принять, что по состоянию на 2014 год ресурс данного вида продукции выработан более чем на 90 %.

Опыт эксплуатации фарфоровых проходных изоляторов последних лет, изготавливаемых, как правило, мелкосерийными партиями, показывает на их низкую эксплуатационную надежность продукции. Это связано, скорее всего, с неудовлетворительным качеством фарфорового

элемента изолятора, обусловленным нарушением технологического регламента производства, не обоснованным уменьшением энергозатрат.

Таблица 1

Количество трансформаторных подстанций в электросетях Украины

Электроэнергетические компании Украины	ТП 6-10 кВ	ТП 35-150 кВ
ОАО «АК Винницаоблэнерго»	10143	191
ОАО «ЕК Житомироблэнерго»	8779	193
ОАО «ЕК Закарпатьеоблэнерго»	5401	231
АК «Киевэнерго»	193	61
ОАО «Николаевоблэнерго»	Нет данных	
ОАО «Прикарпатьеоблэнерго»	Нет данных	
ОАО «Сумыоблэнерго»	7332	179
АК «Харьковоблэнерго»	10707	288
ОАО «ЕК Хмельницкоблэнерго»	7250	174
ОАО «ЕК Черниговоблэнерго»	8 648	
ОАО «ЕК «Херсоноблэнерго»	~ 3000	217
ОАО «Львовоблэнерго»	8518	213
ОАО «Полтаваоблэнерго»	9950	206
ОАО «Запорожьеоблэнерго»	8236	266
ОАО «ЕК Черновцыоблэнерго»	3150	72
ОАО «Одессаоблэнерго»	8591	273
ПАО «ДТЭК Донецкоблэнерго»	~ 12000	369

Особо опасной зоной эксплуатации являются предприятия «Укрзалізниці» с оборудованием на фазное напряжение 27,5 кВ. На указанные участки электрифицированных железных дорог устанавливаются изоляторы типа ИПУ-35/1000-7,5 на фазное напряжение 21 кВ. В качестве примера можно привести данные опроса двух организаций, приобретших керамические проходные изоляторы производства после 2010 года выпуска. Для пополнения аварийного запаса проходных изоляторов ЭЧ-1 Львовской железной дороги были приобретены 20 изоляторов ИПУ-35/1000-7,5. В течение двух лет износ подконтрольных изоляторов составил 100 % и все они были сняты с мест эксплуатации. В 2012 году закончена реконструкция станции Лозовая, где были установлены на пункте группировки современные фидерные ячейки, укомплектованные керамическими проходными изоляторами. После года эксплуатации у двух керамических проходных изоляторах наблюдались интенсивные внутренние частичные разряды при номинальном напряжении, что свидетельствует о

© Карюк Д. Г., 2014

повреждении фарфоровой изоляции до критических размеров - изоляторы подлежали замене. Основными причинами отказа керамических проходных изоляторов являются механическое растрескивание и разрушение фарфоровой части изолятора до видимых размеров, что также создает условие возникновения интенсивных частичных разрядов в теле диэлектрика.

Исследования термоупругих состояний в проходном изоляторе [2] показывают, что в случае перегрева токопровода, например, токами короткого замыкания внешний слой фарфора, подвергается окружным растягивающим напряжением, хотя величина его значительно ниже предельного для данного материала значения. Тем не менее, в работе [2] отмечается, что термоупругие напряжения могут играть решающую роль в разрушении фарфора в том случае, если в его теле присутствуют микротрещины с некоторой критической протяженностью. Согласно теории механическое повреждение твердого тела рассматривается как процесс возникновения хотя бы одной трещины и ее распространения, при котором образуются новые поверхности, разделяющие материала на части. Условие развития трещины можно оценивать соотношением Гриффитса [3]:

$$\lambda_{\text{мин}} \geq \frac{2\omega E}{\pi\sigma_{\text{ср}}^2},$$

где $\lambda_{\text{мин}}$ – минимальная начальная глубина трещины;

ω – удельная поверхностная энергия разрыва всех связей в поперечном сечении (коэффициент поверхностного натяжения материала);

$\sigma_{\text{ср}}$ – среднее напряжение растяжения в окрестности трещины.

Расчеты показывают, что при тех значениях термоупругих напряжений, что обуславливается с перегревом токопровода, критическая длина трещины составляет порядка несколько сотен микронов. Размеры микропор в керамических материалах, как правило, не превышают 10 мкм. Более крупные, протяженные дефекты могут возникать в материале как следствие слияния мелких пор в процессе изготовления, если имеет место отклонения от технологического регламента или под влиянием случайных внешних факторов. При нарушении технологии обжига количество нерасстворенных кристаллитов кварца может существенно увеличиться, что приводит к образованию внутренних напряжений и соответствующих микротрещин, величина которых определяется размерам кристаллитов кварца. Это происходит в

результате резкого изменения объема изделия при охлаждении его в печи. Таким образом, вероятность появления относительно крупных трещин порядка 100 и более микрон для хрупких керамических материалов всегда существует, поэтому нельзя исключить процесс постепенного разрушения рассматриваемого изолятора под воздействием статических и кратковременных термоупругих растягивающих напряжений.

В последние годы отмечается активное использование полимерных проходных изоляторов взамен фарфоровых (рис.1).



Рис. 1. Пункт группировки станции Львов, укомплектованный керамическими и полимерными проходными изоляторами

Предпосылками разработки полимерных проходных изоляторов являлись многолетний положительный опыт эксплуатации линейных и подстанционных изоляторов; использование нехрупких полимерных материалов в качестве изоляции и применение не энергоемкой технологии производства продукции. Освоение указанных материалов и технологии позволило создать конструкции полимерных проходных изоляторов с очевидными преимуществами:

- устойчивость применяемых материалов к резкому перепаду температур в диапазоне от -60 °C до +120 °C без изменения их свойств;
- устойчивость к статическим, динамическим и ударным нагрузкам;
- отсутствие хрупкого разрушения (в том числе и при транспортировке);
- гидрофобность поверхности защитной оболочки, отсюда способность поверхности изоляции к самоочистке (не требует обслуживания в процессе эксплуатации);
- низкие энергозатраты на единицу продукции;
- значительно меньшая масса.

В настоящее время известны зарубежные фирмы, изготавливающие полимерные проходных изоляторов (вводов): C-K Composites, Hoescht Ceram Tech, Kuvag Kunststoffverarbeitungs, Lapp Insulator Company, Mekufa, Raychem,

Sediver, GEC Henley, Isola Werke, Georg Jordan и MWB High Voltage Systems, Reuel, НПО Изолятор, Энергия-21, ЮИК и другие.

Вместе с тем, как показывает опыт эксплуатации полимерных проходных изоляторов первых разработок в России и в Украине, отмечаются ранние отказы изоляторов класса 35 кВ по причине электрического пробоя. Обследовани- ем поврежденных изоляторов, а также лабора- торными исследованиями было установлено, что имеет место электрическое старение изоля- ции на самом напряженном промежутке изоля- ции: токопровод – фланец, что обусловлено протеканием частичных разрядов (рис. 2).



Рис. 2. Полимерный проходной изолятор, вышедший из строя по причине электрического старения изоляции

Как известно [4], срок службы изоляции оценивается степенной функцией от максимальной напряженности электрического поля в диэлектрике

$$\tau = AE^{-n},$$

где $n = 5 \div 7$ при переменном токе промышленной частоты.

Поэтому очень важно, с одной стороны, усовершенствовать конструкцию изолятора с целью оптимизации интегрального распределения поля в наиболее уязвимом участке изоляции, с другой стороны, изучить всевозможные технологических факторы, которые могут привести к образованию локальных электрически напряженных очагов в теле изоляции с тем, чтобы минимизировать их в процессе изготовления. Также первостепенное значение приобретает проблемы разработки новых специфических методов контроля и введения в объем обязательных испытаний при оценке продукции в заводских и полевых условиях.

Не смотря на конструктивные и технологические ошибки при производстве первых партий проходных полимерных изоляторов, эта

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехниче- ские устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний.
- Ким Е. Д. Оценка термоупругих напряжений

продукция получает в Украине последние годы все большее распространение (рис. 3).

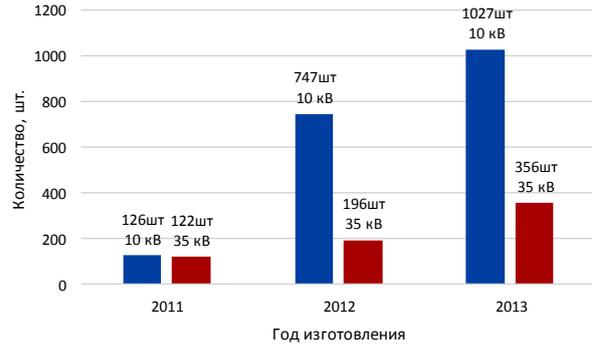


Рис. 3. Применение полимерных проходных изоля- торов в Украине производства ООО «Славэнергопром»

В заключение коротко об экономической эф- фективности от использования полимерных проходных изоляторов. 3-4 года назад стоимость полимерных проходных изоляторов была суще- ственно выше стоимости керамических изолято- ров, и экономическая эффективность обосновы- валась экономией на транспортных, монтажных и эксплуатационных расходах. Экономически оправданным было применение полимерных проходных изоляторов на оборудовании напря- жением 35 кВ. Сегодня стоимость полимерного изолятора равна или даже ниже стоимости кера- мических изоляторов. Это несомненно должно стимулировать преимущественное распростра- нение проходных полимерных изоляторов.

Выводы

Проведя анализ узкого сегмента электроизо- ляционного оборудования – проходных изоля- торов на напряжения 10, 35 кВ, можно сделать заключение, что данный класс изоляторов выра- ботал ресурс эксплуатации и подлежит замене. Современные проходные фарфоровые изолято- ры не полностью удовлетворяют требованиям по надежности. Исходя из этого разработана но- вая конструкция проходных изоляторов с при- менением полимерных материалов, которая в ближайшее время может стать полноценной за- меной классических проходных изоляторов из фарфора в энергосистеме Украины.

REFERENCES

- GOST 8024-90 *Apparaty i elektrotehnicheskie ustroystva peremennogo toka na napryazhenie vishe 1000 V. Normy nagreva pri prodolgitelnom regime raboty i metody ispitaniy.* [Apparatus and electrical devices AC voltage of 1000 V. Heating norms at continu-

в фарфоровом проходному ізоляторі // Енергетика та електрифікація. - 2012. - №2. - С. 45-48.

3. Дж. Гордон. Конструкції, или почему не ломаются вещи. 1978

4. Техніка високих напруг / Под ред. М.В. Костенко. – М.: «Высшая школа», 1973. – 528 с.

Поступила в печать 17.09.2014.

Ключевые слова: полимерный изолятор, эксплуатация, пробой, термоупругие свойства, разрушение.

ous operation and test methods]

2. Kim E.D. *Ocenka termoprugih napyageniy v farforovom prohodnom izolyatore* [Evaluation of thermo elastic stresses in a porcelain bushing] / *Energetika I Elektrifikaciya* [Energetics and electrification], 2012, no.2, pp. 45-48.

3. *J. Gordon Konstrukcii, ili pochemu ne lomayutsa veshi.* [Design, or why things do not break], 1978.

4. *Tehnika visokih napyageniy.* [High Voltage Equipment] *Pod red. M.V. Kostenko* [Edition M. V. Kostenko], Moscow, High school publ., 1973, 528 p.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Панасенко Н. В.*

Безопасность поставок электроэнергии потребителя зависит от надежной работы электрического оборудования в том числе и изоляционных конструкций. В последние года стал остро вопрос о замене проходных изоляторов в энергосистеме Украины, в связи с выработкой ресурса данного типа продукции. В настоящее время возможна замена на новые фарфоровые проходные изоляторы или их аналоги. В связи с интенсивным развитием полимерных материалов и технологий их переработки, закономерно стал вопрос о реализации достижений полимерной промышленности в разработке проходных изоляторов на напряжения 10-35 кВ. В настоящей статье рассмотрены вопросы опыта эксплуатации фарфоровых проходных изоляторов находящихся в эксплуатации, и групп подконтрольных фарфоровых и полимерных изоляторов установленных с 2010 года. Описаны основные достоинства и недостатки фарфоровых и полимерных высоковольтных проходных изоляторов. Обозначены перспективы развития проходных изоляторов из полимерных материалов.

УДК 621.315

Д. Г. КАРЮК (ТОВ «СЛАВЕНЕРГОПРОМ»)

Товариство з обмеженою відповідальністю «Славенергопром», вул. Шевченко, 49, Слов'янськ, Україна, 84122, karuk1979@gmail.com

СТАТИСТИКА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПРОХІДНИХ ІЗОЛЯТОРІВ

Безпека поставок електроенергії споживачам залежить від надійної роботи електричного обладнання в тому числі і ізоляційних конструкцій. В останні роки стало гостро питання про заміну прохідних ізоляторів в енергосистемі України, у зв'язку з виробленням ресурсу даного типу продукції. В даний час можлива заміна на нові фарфорові прохідні ізолятори або їх аналоги. У зв'язку з інтенсивним розвитком полімерних матеріалів і технологій їх переробки, закономерно стало питання про реалізацію досягнень полімерної промисловості в розробці прохідних ізоляторів на напруги 10-35 кВ. У цій статті розглянуті питання досвіду експлуатації порцелянових прохідних ізоляторів які перебувають в експлуатації, і груп підконтрольних порцелянових і полімерних ізоляторів встановлених після 2010 року. Описано основні переваги та недоліки фарфорових і полімерних високовольтних прохідних ізоляторів. Позначені перспективи розвитку прохідних ізоляторів з полімерних матеріалів.

Ключові слова: полимерный изолятор, эксплуатация, пробой, термопружні властивості, руйнування.

Внутрішній рецензент *Сиченко В. Г.*

Зовнішній рецензент *Панасенко М. В.*

UDC 621.315

D. G. KARYUK (LLC «SLAVENERGOPROM»)

Limited Liability Company «Slavenergoprom», st. Shevchenko, 49, Slavyansk, Ukraine, 84122, karuk1979@gmail.com

OPERATING STATISTICS HIGH-VOLTAGE ANADROMOUS INSULATORS

Security of supply of electricity of consumers depends on the reliable operation of electrical equipment including insulating construction. The question of replacing the bushings insulators in the power system of Ukraine recently strictly appeared, because of output of this type of products. Nowadays replacement is possible into new porcelain bushings insulators or their analogues. In connection with the intensive development of polymeric materials and technologies to process them, naturally became a question of implementation of the achievements of the polymer industry in the development of the bushing insulators 10-35 kV. This article describes the operating experience of porcelain bushings in service, and groups controlled porcelain and polymer insulators installed in 2010. The basic advantages and disadvantages of porcelain and polymeric high voltage bushings have been described. Perspectives of development of bushings made from polymeric materials have been identified.

Keywords: polymeric insulator, maintenance, breakdown, thermo elastic properties, destruction.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Panasenko M. V.*

© Карюк Д. Г., 2014