

ПОЛИМЕРНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ ПОДВЕСНОГО ТИПА: АНАЛИЗ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ, РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Длительная работоспособность высоковольтных полимерных изоляторов подвешенного типа определяется в основном: прочностью узла соединения однонаправленного (профильного) стеклопластика с металлическими фланцами на концах, надежностью герметичности между фланцами и ребристым полимерным покрытием из трекинговойстойкого материала (стойкого к поверхностным частичным дуговым разрядам в присутствии загрязнения и увлажнения), качественной адгезией материала покрытия к стеклопластику, размерами и конфигурацией указанных выше отдельных ребер, а также наличием экранной арматуры [1].

Анализ литературы показывает, что наибольшее число отказов полимерных изоляторов при эксплуатации — это «хрупкое разрушение» стеклопластикового профиля и пробой последнего под ребристой оболочкой. Основными причинами, вызывающими эти отказы, являются проникновение влаги через соединение металлических фланцев с изоляционным покрытием, проникновение влаги через оболочку и перегрев стеклопластикового профиля при литье оболочки, вызвавший растрескивание стеклопластика. Как правило, «хрупкое разрушение» в подвешенных изоляторах наблюдается со стороны высокого напряжения, поддерживающего провод.

По данным [2, 3], вероятность «хрупкого разрушения» полимерных изоляторов составляет не более $(1,0 - 1,3) \cdot 10^{-6} \cdot 1/\text{год}$. Механизм «хрупкого разрушения» полимерных изоляторов подробно описан в [2].

Известны также случаи выхода из строя подвешенных полимерных изоляторов по причине **точечной эрозии** материала покрытия на всю толщину. За рубежом этот вид разрушения называют **проколом** изоляционного покрытия. При этом обнажается стеклопластиковый профиль, атмосферная влага получает доступ к профилю и под покрытие, формируя внутренний электрод, который совместно с внешней проводящей пленкой способствует дальнейшему разрушению стеклопластика и покрытия с образованием трека на них и перекрытия изолятора в целом.

Проколы изоляционного покрытия наблюдаются чаще всего у металлических фланцев, где напряженность электрического поля наибольшая, а также возможно попадание влаги под покрытие с торцов при плохой герметизации фланцев и плохом прилегании покрытия. В случае производственного брака, например, в виде воздушной полости, в результате совместного действия частичных поверхностных и объемных разрядов возникает прокол покрытия в любом месте изолятора.

Анализируя отечественный и зарубежный опыт изготовления и эксплуатации полимерных изоляторов, приходим к выводу, что одним из условий успешной работы изоляторов является его монолитность, которую можно достичь, например, путем обеспечения качественной адгезии материала защитного покрытия к стеклопластиковому профилю и герметизации узла соединения металлического оконцевателя с изолирующим элементом.

Составы полимерных материалов и технология изготовления изоляторов постоянно совершенствуются. В качестве защитных покрытий применяется циклоалифатическая эпоксидная смола, сопо-

лимер этилена и пропилена (полиолефин), политетрафторэтилен, этиленпропиленовый и кремнийорганический каучуки [4, 5]. Материал защитного покрытия, стеклопластик, металлическая арматура, а также граничный слой между ними, независимо от степени адгезии (покрытие — стеклопластик и покрытие — металл), должны иметь достаточную упругую вязкость, особенно при низких температурах, во избежание расслоения, образования трещин и сколов.

Как известно, одна из главных особенностей поведения полимерных изоляторов заключается в сильной зависимости срока службы от постоянно воздействующих механических и электрических нагрузок и условий окружающей среды. Фактор времени, на основании которого проводится разработка ускоренных испытаний, является важнейшим. Поэтому одним из основных принципов проведения испытаний является получение достоверных результатов, позволяющих промоделировать ускоренными испытаниями длительный срок эксплуатации.

Согласно материалам исследований [6], в настоящее время нет общепризнанной методики, позволяющей оценить работоспособность полимерных изоляторов от начала эксплуатации до достижения ими предельного состояния, т. е. оценки их ресурса. Авторами рассмотрен один из подходов такой методики сравнительных ресурсных испытаний высоковольтных подвешенных полимерных изоляторов. В каждом цикле изоляторы **последовательно** подвергались следующим испытательным воздействиям (см. табл. 1):

- воздействие в течение двух часов положительной температуры $+80^\circ\text{C}$ (сухой нагрев);

Табл.1. Программа ресурсных испытаний полимерных подвешенных изоляторов при $U_{ном.} = 110 \text{ кВ}$

Сухой нагрев — 80°C									
Горячая вода — 80°C									
Отрицательная температура — -50°C									
Переменное напряжение — 146 кВ, влажность — 100%									
Механическая растягивающая сила — 56 кН									
Горячая вода — 80°C									
Переменное напряжение — 80% от сухоразрядного									
Механическая растягивающая сила — 56 кН									
Механическая растягивающая сила — 70 кН									
Длительность, мин.	120	480	120	120	120	480	120	120	5

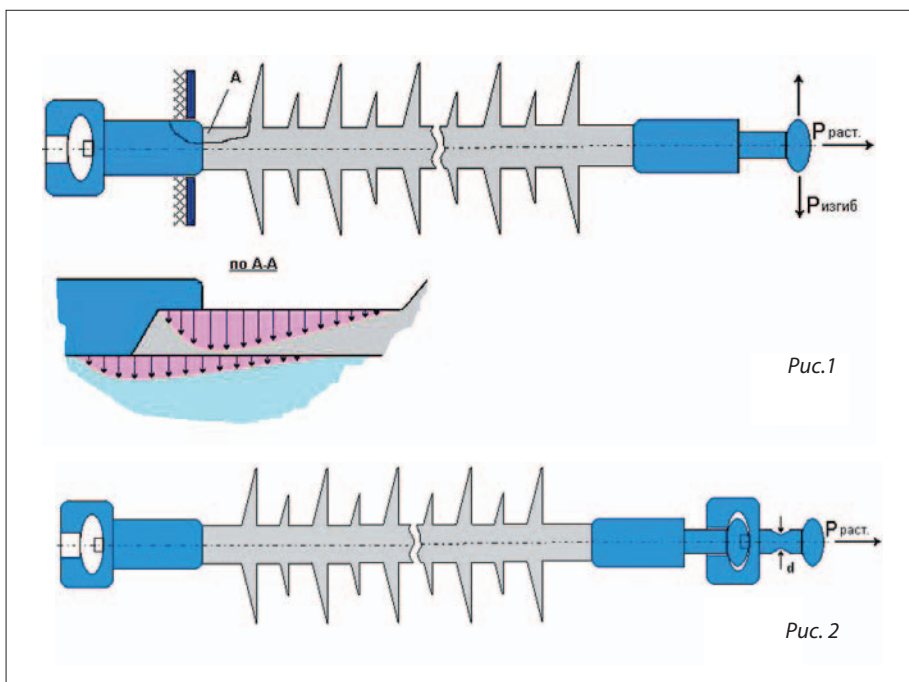


Рис. 1

Рис. 2

- погружение в воду, нагретую до +80 °С, на 8 час.;
- воздействие в течение двух часов отрицательной температуры – 50 °С;
- приложение в течение двух часов переменного напряжения, равного двойному наибольшему фазному напряжению в условиях искусственного пара (тумана) при насыщении, вызывающем падение капель с изоляторов;
- приложение в течение двух часов постоянной механической растягивающей силы, равной 80% нормированной механической разрушающей силы на растяжение;
- погружение в воду, нагретую до +80 °С на 8 час.;
- приложение в течение двух часов переменного напряжения, равного 80% от сухоразрядного напряжения;
- приложение в течение двух часов механической растягивающей силы, равной 80% нормированной механической разрушающей силы на растяжение;
- приложение в течение 5 мин. механической растягивающей силы, равной нормированной механической разрушающей силе на растяжение.

После окончания ресурсных испытаний изоляторы каждого типа подвергались следующим контрольным испытаниям:

- определение класса гидрофобности защитной оболочки;
- определение адгезии оболочки к стеклопластиковому профилю;
- определение стойкости к проникновению красящей жидкости;
- определение стойкости к диффузии воды;
- определение электрической прочности стеклопластикового профиля вдоль волокон и поверхности раздела между оболочкой и профилем.

На наш взгляд, проведение ресурсных испытаний (согласно табл. 1) не в полной мере учитывает все воздействующие эксплуатационные факторы на подвесной полимерный изолятор, а именно — **одновременное** воздействие растягивающих и изгибающих нагрузок на материалы изолятора как при высоких температурных режимах (происходит механическая деструкция материала), так и при низких температурных режимах (происходит возрастание хрупкости материала).

Деструкция полимера — это разрыв цепи, протекающий под влиянием различных атмосферных воздействий (механическое, солнечной радиации, химически активной среды и др.) и в присутствии высокого напряжения, которым полимер под-

вергается. Приложенные воздействия при определенных температурных условиях создают возможность накопления флуктуаций (отклонение внутренней энергии от равномерного распределения) и обеспечивают направленность процесса разрыва химических связей полимера. Происходит растрескивание и разрушение поверхностного слоя полимера [7, 8].

Возрастание хрупкости материала при низких температурах связано с происходящей при этом затрудненности движения дислокаций из-за значительного повышения предела текучести. Начиная с некоторой температуры, т. н. критической температуры хрупкости (или порога хладноломкости), хрупкое разрушение наступает раньше, чем состояние пластической текучести, особенно на соприкасающихся поверхностях материалов изолятора. Поскольку склонность к появлению хрупкости (или значительное ее возрастание) при низких температурных режимах индивидуальна для каждого материала, разрушения с образованием трещин и сколов происходят как внутри самого материала, так и между отдельными слоями [7, 8]. Последний показатель особенно важен для изоляторов с покрытием из термопластичных материалов типа полиолефин.

На рисунке 1 приведен способ воздействия на изолятор растягивающей и изгибающей нагрузок одновременно в условиях тепла и холода. При этом концентрация напряжений в основном накапливается у жестко закрепленного фланца (см. зона А на рис. 1).

Для определения порога хладноломкости на изолятор устанавливается дополнительное приспособление (см. рис. 2). При резком разрыве шейки (d) дополнительное приспособление происходит мгновенный сброс растягивающей нагрузки. Это приводит к образованию трещин и сколов по всей длине изолятора.

После проведенных ресурсных испытаний, описанных в табл. 2, изоляторы подвергались контрольным испытаниям согласно программе, приведенной выше.

В заключение можно отметить, что ресурсные испытания высоковольтных полимерных подвесных изоляторов (см. табл. 2) наиболее близки к реальным условиям эксплуатации при загрязнении, увлажнении

Табл.2. Программа уточненных ресурсных испытаний высоковольтных полимерных изоляторов подвесного типа

Сухой нагрев — +80 °С и приложение растягивающей нагрузки (80% от разрушающей) с одновременным приложением изгибающей нагрузки на 12 градусов от оси изолятора. Количество изгибов — до 1000 раз.				
Горячая вода — +80 °С и приложение растягивающей нагрузки (80% от разрушающей) с одновременным приложением изгибающей нагрузки на 12 градусов от оси изолятора. Количество изгибов — до 1000 раз.				
Отрицательная температура — -50 °С и приложение растягивающей нагрузки (80% от разрушающей) с одновременным приложением изгибающей нагрузки на 12 градусов от оси изолятора. Количество изгибов — до 1000 раз.				
Отрицательная температура — -50 °С и приложение растягивающей нагрузки до разрушения. Количество испытаний — до 10 раз (для определения порога хладноломкости).				
Длительность, мин	120	480	120	120

и при различных температурных воздействиях. Проведенные нами ресурсные испытания имеют особое значение при эксплуатации изоляторов в условиях северных районов.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать следующие выводы.

Полимерный подвесной изолятор работает в сложных климатических условиях. Следовательно, для получения наиболее достоверных результатов ресурсных испытаний необходимо максимально приблизить условия проведения испытаний к реальным условиям эксплуатации, а именно: на изолятор приложить одновременно растягивающую и изгибающую нагрузки как при положительных, так и при отрицательных температурах. Для определения порога хладноломкости необходимо также провести испытания изоляторов в режиме резкого сброса растягивающей нагрузки при отрицательном температурном режиме. Надежная работа этих изоляторов возможна лишь при температурах, лежащих выше по-

рога хладноломкости материалов изолятора. Материалы, приведенные в статье, являются предварительными и подлежат обсуждению разработчиками и производителями изоляторов.

Г. А. ГУСЕЙНОВ, зав. лабораторией факультета комплексной безопасности, **С. Г. ГУСЕЙНОВА**, мл. научный сотрудник, **МА СИ**, аспирант. **ГОУ СПб ГПУ**

Литература

1. Александров Г. Н., Гусейнов Г. А. «Оптимизация технологических процессов формования стеклопластиковых изоляторов для высоковольтных аппаратов и ЛЭП». Отчет ЛПИ 205114, 1982 г., Гос. рег. №81008630.

2. Ю. Н. Шумилов и др. «Обеспечение надежности полимерных изоляторов с цельнолитыми защитными оболочками». //Тезисы докладов на Международной научно-технической конференции «Полимерные изоляторы и изоляционные конструкции высокого напряжения», СПб, 23–27. 10. 2006 г.

3. A. Phillips. Survey of Application of overhead transmission line polymer insulators in north

America and summary of EPRI polymer insulator failure database. World conference and exhibition on insulators, arresters and bushings. Marbella, Spain, nov. 16–19, 2003, p. 147–157

4. Г. А. Гусейнов и др. «Исследование материалов для изоляторов на основе кремнийорганических каучуков». //«Электротехническая промышленность», ЭМ, 1984 г., вып. 11 (172).

5. Г. А. Гусейнов и др. «Полимерная композиция для покрытий». //А.С. 620177, СО 8L 27/12. 1978 г.

6. Л. Л. Владимирский и др. «Подвесные полимерные изоляторы: особенности технологии изготовления, технические требования, опыт эксплуатации, ресурсные испытания». //Тезисы докладов на Международной научно-технической конференции «Полимерные изоляторы и изоляционные конструкции высокого напряжения», СПб, 23–27. 10. 2006 г.

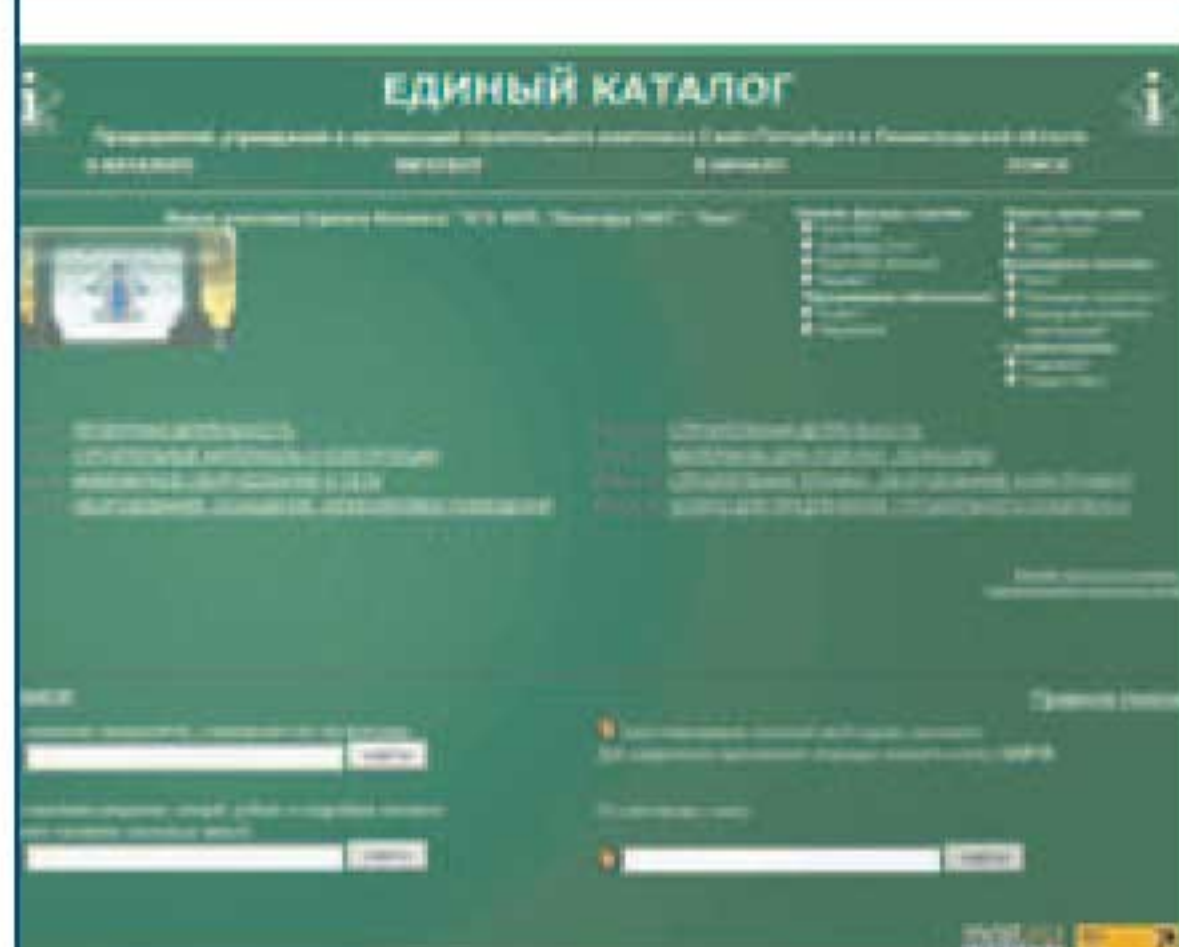
7. Химическая энциклопедия. Т. 1–5. — М.: изд. БРЭ, 1988–1998 гг.

8. А. А. Тарер. «Физико-химия полимеров». — М.: «Химия», 1978 г.

Информационно-выставочный комплекс

ПЕТЕРБУРГСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

ДЕПАРТАМЕНТ СЕМИНАРОВ оказывает информационную поддержку компаниям-поставщикам и производителям строительной продукции по их продвижению на петербургском рынке:



- ✓ Организация и проведение презентаций фирм и обучающих семинаров. Мы поможем вам сформировать аудиторию слушателей, которые могут стать вашими заказчиками. При необходимости обеспечим информационную поддержку в СМИ.
- ✓ Виртуальная выставка «Единый каталог предприятий, учреждений и организаций строительного комплекса Санкт-Петербурга и Ленинградской области». Размещение информации в этом Интернет-каталоге — эффективный способ привлечения новых клиентов и партнёров.
- ✓ Почтовая презентация «Post presentation» — это одна из форм презентации вашей фирмы. Post presentation выгодно отличается от обычной почтовой рассылки тем, что вы получаете ответную реакцию на предлагаемый вами товар или услугу. Почтовая презентация может быть использована вами для маркетинговых исследований.
- ✓ Организация и проведение тематических конференций по актуальным проблемам строительной отрасли. Эти мероприятия проводятся совместно с отраслевыми комитетами Санкт-Петербурга и Ленинградской области и направлены на выявление передовых и современных способов решения наиболее острых проблем строительства, эксплуатации и содержания жилищного фонда города и области.
- ✓ Каталог-картотека «Стройфайл». Вы можете быть представлены в этом уникальном каталоге, который содержит информацию о рынке строительных товаров и услуг, о новых материалах и технологиях, представленных в Санкт-Петербурге. При создании этой картотеки использовался опыт Финского строительного центра, который издает подобную картотеку «RT-файл» более 30 лет.

INFSTROY

Наши контакты: Санкт-Петербург, ул. Торжковская, д.5, Тел./факс: + 7 (812) 324-99-97
+7 (812) 496-52-14 (15,16) info@infstroy.ru, www.infstroy.ru