



Полномасштабные испытания изоляторов с передачей информации по радиоканалу, выполняемые лабораторией EPRI в городе Леннокс, штат Массачусетс, США.

Всё ли в порядке с вашими изоляторами?

В институте EPRI разработан прибор, применяемый с помощью изолирующей штанги, который позволяет выявлять скрытые дефекты в композитных изоляторах перед началом работ на линии под напряжением.

Эндрю Филлипс (Andrew Phillips), EPRI, Эд Хант (Ed Hunt), Western Area Power Administration, Алан Холломан (Alan Holloman), Georgia Power Co

Чтобы обеспечить безопасность работ под напряжением с линейными подвесными изоляторами, выполненными из композитных материалов (называемых также полимерными или некерамическими), прежде всего необходимо проверить электрическую и механическую целостность установленных полимерных элементов и сменных узлов.

Проверить целостность композитных изоляторов сложнее, чем изоляторов, выполненных из фарфора или стекла. Это отличие вызывается двумя причинами: во-первых, не существует общепринятых и несложных процедур для таких проверок и, во-вторых, оборудование для испытаний под напряжением композитных изоляторов не всегда имеется в наличии. Следовательно, некоторые пользователи предпочитают не пользоваться композитными изоляторами вообще, а те из них, которые всё-таки их применяют, воздерживаются от выполнения работ под напряжением.

Совместная разработка

Долгое время не существовало переносных инструментов для оперативного обнаружения дефектов композитных изоляторов. В 2003 году EPRI (Electric Power Research Institute) приступил к разработке простого детектора для оценки целостности полимерных изоляторов при их установке.

Основное внимание первоначально уделялось двухцепным ВЛ 230 кВ со стальными решетчатыми опорами, однако рассматривались также и другие конструкции ВЛ 230 кВ. В процессе тестирования определялся процент композитных изоляторов, проводящих электрический ток до того, как на них подавался всплеск напряжения, уровень которого изолятор мог бы снизить до допустимого. Испытания подтвердили также, что применение ступенчатого измерителя для оценки электрического состояния композитных изоляторов не представляется возможным.

Одним из значительных достижений проекта было определение критической длины дефектов, которые дефектоскоп должен определять в конкретных эксплуатационных ситуациях. Критический дефект определялся как короткое замыкание или участок проводимости длиной приблизительно 18% от длины изолятора. Это достижение было первым шагом в развитии проекта.

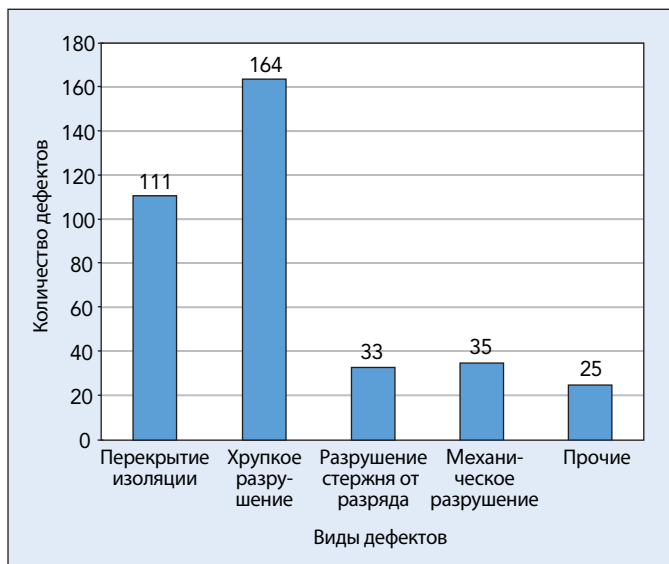
Первые результаты позволили наметить основные направления последующих работ и приступить к конструированию. Параллельно с этими работами EPRI реализовывал проект по сбору и оценке информации отказов композитных изоляторов в полевых условиях и выявлению образцов, старение которых произошло в полевых условиях. Отказы, полученные в Северной Америке, были зафиксированы в базе данных и классифицированы по виду отказа. Некоторые из образцов, старение которых произошло в полевых условиях, были выведены из эксплуатации и вскрыты.

Желаемые характеристики

В ходе реализации проекта были определены требования к детектору дефектов изолятора. Основное требование состоит в том, чтобы детектор уверенно распознавал критические или более серьёзные, чем критические, дефекты и оставался бы нечувствительным к дефектам, менее серьёзным, чем критические. Детектор должен: обнаруживать большие дефекты в полимерных изоляторах под нагрузкой и игнорировать незначительные; быть понятным для линейного персонала; пригодным для работы в полевых условиях и в то же время простым и удобным в обращении. Детектор не должен вызывать больших изменений в распределении напряжения в изоляторах.

Технические решения

Группа исследователей из EPRI разработала удобный для применения прибор, устанавливаемый изолирующей штангой и состоящий из двух подпружиненных электродов, между которыми приблизительно 152 мм (6 дюймов). Оператор прижимает электроды к поверхности изолятора. Когда реакция пружин на приложенное воздействие достигает определённого уровня, между электродами автоматически включается высокое напряжение с высокой частотой. Сигнал о состоянии изолятора поступает в датчик, расположенный в заземлённом электроде. В приборе сигнал анализируется, и потребитель получает сообщение о характере проводимости испытуемого участка, а именно не имеет ли он свойств проводника или полупроводника. Результат анализа оператор получает через изменение тона звукового сигнала или в виде зелёного или красного света. Более подробная информация заносится в память прибора и может быть считана или передана без помощи проводов через iPad или другое подобное устройство. Оператор тестирует изолятор с шагом 152 санти-



Количество дефектов, выявленных в композитных изоляторах, внесённых в базу данных EPRI и сгруппированных по виду отказа.

метра (6 дюймов) начиная со стороны, к которой приложена энергия. Если по результатам измерений выявляется дефект с длиной больше допустимой, то оператор прекращает измерения и принимает решение, может ли данный участок работать под напряжением.

Трудности, возникшие при разработке

По мере того как исследователи EPRI трудились над разработкой детектора, приходилось преодолевать всё новые и новые трудности. Чтобы измерение было надёжным, детектор при анализе соседней секции изолятора должен быть прикреплён к концевым соединениям. Одна из трудностей состояла в том, что, когда ещё неподсоединённое устройство подводилось к оконцевателю изолятора, на который подавалось высокое напряжение, между ними возникала электрическая дуга. Чтобы исключить образование дуги при анализе соседней секции, было необходимо предусмотреть электрическое соединение с оконечным соединителем изолятора. Однако такое соединение могло бы привести к

Участники проекта

За эти годы несколько фирм участвовали в финансировании разработки аппаратных средств проекта. Авторитетная группа советников консультировала исследователей EPRI. Несколько человек были привлечены к работам над проектом:

- Алан Холломан (Alan Holloman), Southern Company
- Эд Хант (Ed Hunt), Western Area Power Administration
- Жуд Авилака (Jude Awiylika), San Diego Gas & Electric
- Альф Бонанно (Alf Bonanno), Mike Mclean and Dave Tuttuci, Powerlink
- Роберт Гордон (Robert Gordon) и Вин Вивер (Wyn Weaver), Center Point Energy
- Кол Хоуп (Cal Hoppe) и Джон Поднар (John Podnar), First Energy
- Джон Кайл (John Kile) и Марти Делашмит (Marty Delashmitt), Tennessee Valley Authority
- СК Ng, Hydro One
- Кен Браун (Ken Brown), Bonneville Power Administration
- Тим Олсон (Tim Olson), Manitoba Hydro
- Рон Лунд (Ron Lund) и Скотт Уолц (Scott Walz), Nebraska Public Power District
- Линвуд Блексмитс (Linwood Blacksmith) и Тайсон Лайс (Tyson Lies), Tri-State Generation and Transmission

БЕЗОПАСНОСТЬ Обслуживания



Разрез композитного изолятора, удалённого с опоры, иллюстрирующий образование внутренних треков на поверхности раздела стержня и резинового кожуха. Чтобы сделать эти треки видимыми, стержень был из кожуха удалён.

появлению недопустимо больших погрешностей. Решение было найдено путём введения экрана, известного как клетка Фарадея, окружающего зонды и микроэлектронные элементы. Этот экран по необходимости можно подсоединить как к заземлённым, так и высоковольтным элементам. После ряда доработок конструкция детектора с плавающим экраном могла подсоединяться к концевым соединениям и полностью удовлетворяла требованиям по точности измерений.

Другой проблемой был вес прибора, так как в процессе выполнения работ линейные рабочие должны поддерживать прибор за изолирующую штангу. К 2010 году вес прибора был снижен до 2,13 кг (4,7 фунтов), а в 2011 году удалось добиться дальнейшего снижения веса.

После многих лет работы над проектом и лабораторных исследований в июне 2010 года были завершены полномасштабные испытания на линии 345 кВ, проведённые линейным персоналом лаборатории института EPRI в городе Ленокс, штат Массачусетс. Основные результаты приводятся ниже:

- прибор обеспечивает воспроизводимые и согласующиеся результаты как на исправных, так и на дефектных стержневых подвесных изоляторах в диапазоне напряжений. Результаты передавались по радиоканалу;
- прибор имеет высокую чувствительность к дефектам. В зависимости от типа дефекта наблюдалось превышение базовой линии измерений от 50 до 350%;
- собственное потребление прибора от встроенного источника незначительно. Это позволит ещё более снизить его вес.

Следующая проблема — обеспечение надёжности при измерении в условиях существования электрической дуги между электродами прибора. Первоначально разработчики полагали, что подсоединение электродов используется для того, чтобы показать, что устройство, подсоединённое к металлической части изолятора и к соединительному узлу, справится с этой проблемой. Однако, как было показано, во время измерения из-за неустойчивости изолирующей штанги и наличия дефектов дуга всё-таки может возникнуть. Поэтому встал вопрос о необходимости в дополнительных исследованиях.

Дальнейшие этапы разработки

Прошедшие испытания поставили ряд новых вопросов. Прежде всего о надёжности: получит ли один и тот же оператор одинаковые результаты, многократно по-

вторя измерения на одном и том же объекте? А если разные операторы ведут измерения на одном и том же объекте? Для ответа на эти вопросы требуется дальнейшее тестирование вслепую, то есть в условиях, когда участники не знают заранее, в каком состоянии изолятор и, следовательно, не смогут подтасовать результаты.

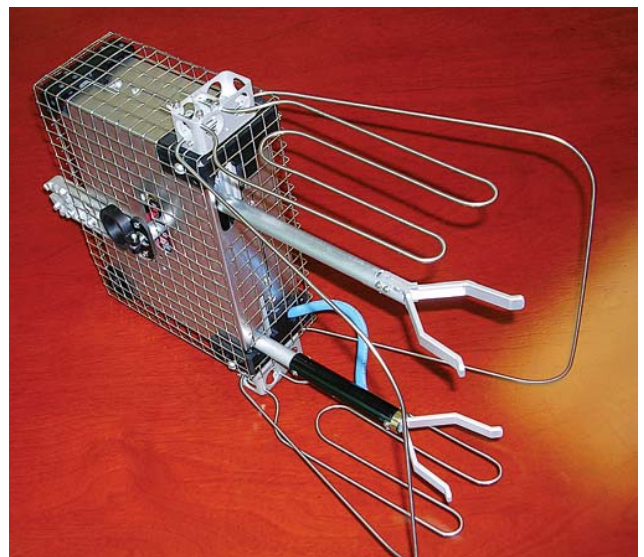
Разработка прибора продолжается. В 2011 году были приложены усилия, чтобы сделать вес изделия меньше 1,8 кг (4 фунта). Возможно, есть ещё пути для дальнейшего снижения как веса, так и размера прибора. Для повышения его устойчивости к дуге между электродами улучшены метод измерений, алгоритмы и схемотехника. Улучшен также интерфейс тестирующей аппаратуры за счёт обратной связи от персонала, участвующего в испытаниях.

Другие серии тестов были выполнены в июне 2011 года семью группами испытателей на линии 138 кВ в г. Шарлотт, штат Северная Каролина, США. Испытания показали хорошую воспроизводимость результатов, полученных на одном и том же объекте разными испытателями. В двух случаях результаты оказались ошибочно положительными. Анализ результатов позволил смягчить эту проблему путём модификации алгоритмов.

Испытания в городе Шарлотт открыли путь для полномасштабных испытаний прибора под напряжением в высоковольтной лаборатории института EPRI в городе Ленокс. Испытания, в которых участвовал линейный персонал и эксперты, проходили в сентябре 2011 г. Целью испытаний было выполнение полномасштабного тестирования под напряжением 345 кВ с участием многих линейных рабочих в ситуациях, с которыми приходится сталкиваться на практике. Тестирование выполнялось для вертикальной изолирующей подвески, V-образной подвески, а также для натяжной системы изолирующего крепления.

Готово почти всё

Приборы, прошедшие полномасштабные испытания, использовались также в испытаниях при отсутствии напряжения. Прибор успешно обнаруживал



Модель для демонстрации техники обнаружения дефектов позиционных изоляторов под напряжением.



Демонстрационная модель самодвижущегося дефектоскопа, разработанная в институте EPRI. Дефектоскоп помещают на проверяемый участок изолятора изолирующей штангой, после чего он работает автономно.

дефекты, будучи подсоединённым или не подсоединённым к концевым соединителям. Между прибором и оператором поддерживалась устойчивая связь. Прибор был удобен в использовании при длине изолирующей штанги, рассчитанной на 138 кВ и 230 кВ и, возможно, 345 кВ. Хотя прибор имел повышенную устойчивость к образованию дуги, он всё-таки ещё далек от совершенства. Наблюдая за действиями испытателей и оценивая полученные результаты, разработчики наметили ряд дальнейших усовершенствований, направленных на упрощение пользования прибором в реальных условиях.

Изменения были внесены, и обе группы — испытатели и разработчики — в ноябре 2011 года вернулись для анализа полученных материалов в Ленокс в лабораторию института EPRI. Испытания прошли безукоризненно, все усовершенствования полностью оправдали себя. При возникновении дуги прибор работал вполне устойчиво, что позволяло проводить измерения при наличии дуги на концевом соединителе. Испытания подтвердили также, что коронирующее кольцо не препятствует функционированию прибора.

В настоящее время в EPRI ведутся работы по коммерциализации прибора, внедрению его в производство и продвижению на рынок средств контроля композитных изоляторов на ВЛ без снятия напряжения. Сегодня в производстве находятся 10 образцов прибора. Они будут поставлены пользователям для эксплуатации в полевых условиях, что позволит разработчикам выбрать направления дальнейших работ. Образцы будут готовы в первом квартале 2012 года. Всё ещё необходимы некоторые доработки и испытания, включая настройку прибора на изолирующую опору, отработку алгоритмов и программы испытаний на надёжность.

На очереди — работы

Полномасштабные испытания показали, что применять прибор с изолирующей штангой на ВЛ 500 кВ без посторонней помощи небезопасно. Есть несколько путей решить эту проблему, но в 2010 году исследователи EPRI остановились на робототехнике и приступили к разработке самодвижущегося аппарата, несущего детектор в качестве нагрузки.

В 2010 году технико-экономическое обоснование и конструирование такого аппарата были завершены, и в 2011 году был изготовлен и успешно испытан опытный образец. Испытания проводились на обесточенных изоляторах вертикальной, V-образной и натяжной изолирующих систем. На следующем этапе были проведены испытания самодвижущегося аппарата с подсоединённым прибором, требующим для проверки композитных изоляторов изолирующую штангу. Испытания продемонстрировали значительно более высокую воспроизводимость результатов по сравнению с результатами, получаемыми оператором, непосредственно работающим с прибором, снабжённым изолирующей штангой. Конечно, работы над созданием такого самодвижущегося аппарата ещё далеки от завершения, но уже сейчас ясно, что применение робототехники даёт большие преимущества, обеспечивая более высокую воспроизводимость, лучшую эргономичность и освобождая персонал от работы под высоким напряжением. TDWR

Эндрю Филлипс (Andrew Phillips, aphillip@epri.com) в институте EPRI является техническим директором по линиям передачи и подстанциям и руководителем сектора применения. В настоящее время его исследовательская деятельность сосредоточена на воз-



КОММЕНТАРИЙ

Александр Гайворонский, зам. директора филиала ОАО «НТЦ электроэнергетики» – СибНИИЭ:

Следует заметить, что цели, которые преследует диагностика полимерных изоляторов (ПИ) в России и за рубежом, существенно различаются. Это в свою очередь обуславливает различные подходы к её проведению и используемым при этом методам и средствам диагностики. Главная, если не единственная, цель диагностики ПИ за рубежом – это оценка технического состояния изоляторов перед проведением ремонтных работ под напряжением для обеспечения безопасности линейного персонала. Для этой цели предлагаемое устройство EPRI вполне подходит, поскольку временные факторы и трудоёмкость диагностики в данной ситуации не являются определяющими. В отечественной практике диагностика ПИ при проведении ремонтных работ под напряжением также актуальна. Однако, к сожалению, необходимость диагностики ПИ этим не ограничивается. В отличие от зарубежного опыта в отечественной практике известны многочисленные случаи повреждения ПИ в эксплуатации. Поэтому более актуальной является оценка технического состояния ПИ в процессе эксплуатации для предупреждения аварийных отключений ВЛ. Для этой цели устройство EPRI не подходит, необходимы принципиально другие методы. Такие методы диагностики на сегодняшний день разработаны и успешно апробированы в полевых условиях. Они основываются на совместном применении методов инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) контроля. Результаты стеновых испытаний и опыт обследования ПИ на ВЛ 220–330 кВ свидетельствуют о высокой эффективности данных методов, позволяющих выявлять дефекты изоляторов на ранней стадии развития размерами 10 см и менее.

БЕЗОПАСНОСТЬ Обслуживания

душных и кабельных линиях передачи, на подстанциях и программах высоковольтной передачи энергии на постоянном токе стоимостью 25 миллионов долларов США. Э. Филлипс проявляет интерес также к робототехнике, некерамическим изоляторам, молниезащите и заземлениям, проверке и оценке качества элементов, разработке датчиков и исследованиям коронных разрядов.

Эд Хант (Ed Hunt, ehunt@wapa.gov) более 30 лет работает в области электротехники, а с 1992 года — в Western Area Power Administration. В EPRI он участвует в рабочей Целевой группе и является одним из ключевых промоутеров разработки и применения полимерных изоляторов. Хант является членом National Electrical Safety Code Subcommittee 8 лет и ассоциированным членом IEEE (Институт инженеров по электронике и электротехнике) в течение 15 лет. В круг его обязанностей в IEEE входит работа в составе группы IEEE по вопросам безопасности и обслуживанию линий передачи, где он занимается составлением и корректировкой нормативных документов, руководств и статей. Э. Хант — сертифицированный специалист по вопросам безопасности.

Алан Холломан (Alan Holloman, wahollom@southernco.com) — специалист по линиям передачи со стажем более 33 лет. Работал в компании Georgia Power Co, сегодня работает в компании Southern Company. В начале карьеры А. Холломан выполнял вспомогательные работы на земле, но вскоре стал линейным рабочим, затем бригадиром, руководителем работ и, наконец, занял позицию руководителя направления обслуживания линий передачи, которую занимает по сей день. В качестве представителя компании Southern Company Э. Холломан участвует в работе многих групп по стандартизации и председательствует в специальной комиссии EPRI по безопасности работ под напряжением, состоит в группе инспекторов EPRI, участвует в работе специальной комиссии по оценке эффективности и обслуживанию, а также в комитете IEEE по электрической безопасности и обслуживанию линий передачи и Национальной ассоциации инженеров по защите от коррозии.

Компании, упомянутые в статье:

Bonneville Power Administration www.bpa.gov

CenterPoint Energy

www.centerpointenergy.com

EPRI www.epri.com

FirstEnergy www.firstenergycorp.com

Hydro One www.hydroone.com

Manitoba Hydro www.hydro.mb.ca

Nebraska Public Power District www.nppd.com

Powerlink www.powerlink.com

San Diego Gas & Electric www.sdge.com

Southern Company

www.southerncompany.com

Tennessee Valley Authority www.tva.gov

Tri-State Generation and Transmission Association

www.tristatetg.org

Western Area Power Administration www.wapa.gov

ПРОИЗВОДСТВО
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ
INSTA
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

PRODUCTION OF
HIGH-VOLTAGE INSULATORS
INSTA
JOINT-STOCK COMPANY

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ полимерных изоляторов

- 1 Полимерные изоляторы III поколения повышенной надёжности для ВЛ и подстанций.
- 2 Самый высокий уровень испытательных напряжений изоляторов типа ЛК, существенно выше установленных другими производителями.
- 3 Уникальная технология изготовления, гарантирующая отсутствие скрытых повреждений стержня изолятора после опрессования оконцевателей.
- 4 Заход оболочки на оконцеватели и фланцы обеспечивает 100% герметизацию и долговечность изоляторов за счёт полного исключения клеевых швов из их конструкции.

ФОРЭНЕРГО  FORENERGO

Адрес: г.Москва, 2-й проезд Перова Поля, д.9

Телефон / факс: +7 (495) 780-51-65

ЗАО «ИНСТА» WWW.ZAOINSTA.RU





КОММЕНТАРИЙ

Николай Карасёв, президент ЗАО ПО «Форэнерго»:

Неоспоримые преимущества полимерных (хотя правильно говорить — композитных) изоляторов обеспечивают им уверенный рост продаж, а следовательно, и накопление опыта применения этих давно уже не экзотических для российского рынка изоляторов.

Среди преимуществ в первую очередь отмечаются: улучшенные влагоразрядные характеристики в условиях загрязнения, снижение цены относительно гирлянд стеклянных изоляторов, уменьшение массы в 7—10 раз, а следовательно, значительное снижение трудоёмкости монтажа (в 3 раза) и стоимости транспортных расходов (в 7 раз), устойчивость к механическим (вандальным) воздействиям, низкий уровень радиопомех, отсутствие боя при транспортировке.

Объёмы производства в России стеклянных подвесных изоляторов и композитных изоляторов с кремнийорганической защитной оболочкой



Источник: данные аналитиков производственного объединения «Форэнерго»

В производстве композитных изоляторов пройден большой эволюционный путь. Сегодня на рынке появились отличные материалы для производства изоляторов: высококачественные резиновые смеси и стеклопластиковые стержни. Почти все российские производители подтянули свой технологический уровень: появились технологии трансферного и инжекционного литья, современные радиальные

опрессовочные агрегаты, хорошее лабораторное оборудование и многое другое. Большинство компаний перешли на цельнолитые конструкции оболочки — условно это изоляторы II поколения. Уже есть несколько предприятий, которые осуществляют серийный выпуск изоляторов III поколения: цельнолитая защитная кремнийорганическая оболочка, наплавляющая на металлический оконцеватель, включающая клеевые швы из конструкции и надёжно герметизирующая вход стержня в оконцеватель.

Сдерживающим фактором более широкого применения композитных изоляторов является сложность диагностики деструктивных процессов, возникающих внутри изолятора. В последнее время несколько компаний в России и за рубежом заявляют о работах, проводимых в области поиска способов и средств решения проблемы диагностики состояния композитных изоляторов.

Несомненно интересны прибор и методика оценки состояния композитных изоляторов, предложенные институтом EPRI (США). Хочется пожелать американским коллегам успехов в скорейшем доведении данной разработки до промышленного выпуска.

Преимуществом предложенного комплекса является высокая достоверность результата, а недостатком — то, что это все же контактный способ. Следовательно, требуется специальная техника, сам процесс измерения довольно трудоёмкий, требующий высокой квалификации операторов.

Инженеры ПО «Форэнерго» тоже работают в направлении поиска действенного и дешёвого способа диагностики «больных» изоляторов. Одна из последних разработок, произведённых совместно с участием ЗАО «МЗВА», — «дугоотводный рог-индикатор» воздушного перекрытия изолятора. Основной задачей данного устройства является механическая индикация перекрытия полимерного изолятора. То есть энергетики получают возможность дистанционного обнаружения изоляторов, которые в ходе эксплуатации имели нерасчётные электрические нагрузки и, соответственно, состояние которых в дальнейшем целесообразно проверить с помощью тех или иных технических средств и методик. Кроме того, «дугоотводный рог-индикатор» позволяет снизить негативный эффект, оказываемый дугой на изолятор при его перекрытии, а также с высокой долей вероятности указать на изолятор, который является причиной устойчивого отключения ВЛ.

