

Диагностика кабельных линий классов напряжений 35–110 кВ

Владимир КУЧЕРЕНКО, главный инженер,
Георгий КУРЮМОВ, начальник отдела технической поддержки сетей,
Дмитрий ПОРОТИКОВ, инженер отдела технической поддержки сетей ОАО «МРСК Волги»,
Михаил ЗАХАРОВ, начальник отдела диагностики ООО «Себа Спектрум»

За период с 2009 по 2011 год специалистами ОАО «МРСК Волги» накоплен значительный опыт в проведении работ по диагностике кабелей среднего и высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. Работы проводились с использованием системы OWTS HV 150 производства фирмы SEITZ instruments, в которой реализован метод измерения уровня частичных разрядов (ЧР) и локализации мест их возникновения. За это время проведена диагностика 31 кабеля напряжением 35–110 кВ. Целью диагностики является определение степени опасности дефекта и прогноз вероятного пробоя кабеля на основании оценки динамики ухудшения состояния изоляции по скорости нарастания уровня и интенсивности ЧР в дефектном месте.

ВВЕДЕНИЕ

Всё более широкое применение в России при проведении реконструкции старых и прокладке новых кабельных линий находят кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Это в первую очередь связано с высокими эксплуатационными характеристиками таких кабелей, большими строительными длинами, меньшим весом, расширенным рядом номинальных сечений, меньшим радиусом изгиба и диаметра, а также с возможностью диагностики и мониторинга состояния изоляции кабелей неразрушающими методами контроля. В ОАО «МРСК Волги» эксплуатируются кабельные линии с изоляцией из СПЭ классов напряжения 35–110 кВ. Данные линии проложены в период с 2006 по 2009 год и относятся к категории «вновь введённого электрооборудования». Следовательно, дефекты, выявляемые на таких кабелях при проведении диагностических работ, можно с большой долей вероятности отнести к ка-

тегории заводского брака и дефектам монтажа. Кабель, по заявлениям заводов-изготовителей, гарантированно имеет уровень ЧР не выше 10 пКл. Уровни ЧР в соединительных муфтах зависят, как правило, не столько от качества самой муфты, сколько от квалификации персонала, проводившего монтаж. Учитывая этот факт, приём вновь смонтированной КЛ у монтажной организации целесообразно проводить только после диагностики ЧР в изоляции. В связи с этим в распоряжение № 192 ОАО «МРСК Волги» «О диагностике состояния электрооборудования», выпущенное в 2008 году, был включён пункт, касающийся строящихся КЛ напряжением 110 кВ, а именно требование, по которому до принятия линии в эксплуатацию необходимо провести измерение уровня частичных разрядов.

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ

В силовых КЛ основными причинами снижения электрической прочности изоляции в процессе длительной эксплуатации (т.е. старения изоляции) или некачественного монтажа соединительных и концевых муфт являются воздействия частичных разрядов и повышенных температур. Физические процессы в изоляции силовых кабелей под воздействием ЧР (т.е. микрозарядов, возникающих в местах неоднородности изоляции при рабочем напряжении) к настоящему времени изучены достаточно хорошо. Разработаны различные методы измерения характеристик ЧР в силовых КЛ, которые реализованы в отечественных и зарубежных приборах и установках различных конструкций. Одной из наиболее современных и эффективных диагностических систем, предназначенных для оценки состояния изоляции всех типов кабелей методом контроля характеристик ЧР, является система OWTS (Oscillating Wave Test System), в которой ре-

Рис. 1. Схематическое изображение системы OWTS HV 150



Рис. 2. Вид собранной системы OWTS HV 150 при испытании кабельной линии 110 кВ в реальных условиях



ализован метод измерения ЧР осциллирующим затухающим напряжением. Система OWTS HV 150 позволяет определять величину, интенсивность, напряжение возникновения и гашения ЧР, локализовать места их возникновения в КЛ, кроме того, измерять величину тангенса угла диэлектрических потерь и ёмкости кабельной линии. По совокупности полученных параметров может быть сделано обоснованное заключение о техническом состоянии и проблемных местах диагностируемой КЛ.

Диагностика с использованием системы OWTS (рис. 1 и 2) выполняется на полностью отключенной и отсоединенной с двух сторон КЛ. Перед началом диагностирования производится калибровка системы с целью определения скорости распространения импульсов ЧР по КЛ и определения степени затухания ЧР. После калибровки каждая фаза КЛ по-

следовательно заряжается в течение нескольких секунд постоянным напряжением до выбранной величины, не превышающей амплитуду номинального линейного напряжения КЛ. После зарядки фаза КЛ с помощью электронного переключателя замыкается через резонансную катушку на заземлённый экран кабеля. В процессе разряда кабеля в контуре возникают затухающие синусоидальные колебания, частота которых зависит от ёмкости диагностируемого объекта. Бегущая волна инициирует ЧР в изоляции КЛ, которые фиксируются и сохраняются в памяти компьютера системы OWTS для последующей обработки с целью определения амплитуды, интенсивности и местоположения ЧР по длине КЛ. Так как амплитуда испытательного напряжения является затухающей, то можно точно определить напряжение, при котором возникают и исчезают ЧР. Колебательное напряжение прикладывается к объекту в течение нескольких сотен миллисекунд и поэтому не нагружает кабель и не повреждает его. Локализация ЧР в КЛ осуществляется с использованием метода рефлектометрии по результатам регистрации двух импульсов от одного и того же ЧР — первичного импульса и импульса, отражённого от дальнего конца КЛ (рис. 3).

По результатам диагностики составляется отчёт о техническом состоянии КЛ, в котором содержатся основные сведения о кабельной линии: тип кабеля, его длина, количество соединительных муфт и расстояния между ними, уровни и интенсивность измеренных ЧР, значения напряжений возникновения и гашения ЧР и т.д. На основании этого делается заключение о наличии «проблемных мест» и, как правило, устанавливается срок повторной диагностики.

Рис. 3. Пошаговая хронологическая схема проведения диагностики ЧР системой OWTS HV 150, используемая специалистами МРСК Волги



ДИАГНОСТИКА КЛ

ДИАГНОСТИКА КЛ

Руководством эксплуатирующей организации может быть принято решение о необходимости определения конкретного места возникновения ЧР на кабеле. Сделать это возможно с помощью специально предназначенных для этого приборов PD Loc и PDS производства фирмы Seba KMT.

Перед проведением диагностики необходимо рассмотреть ряд технических и организационных вопросов:

- изучить проектное решение КЛ, компоновку РУ, фотографии с места предполагаемого проведения диагностических работ;
- разработать графический план расположения оборудования, с указанием высот и расстояний до заземлённых частей;
- оценить условия для подключения диагностической системы OWTS HV 150:
- конструкцию контактного соединения на концевой муфте;
- наличие и конструкцию адаптера для подключения к КРУЭ;
- высоту портала концевой муфты;
- определить места подключения (220 В, 3 кВт) оборудования, с указанием расстояния до испытательной системы OWTS HV 150;
- проанализировать информацию о диагностируемой КЛ (год прокладки, тип, номинальное напряжение, длина, расстояние до соединительных муфт, схема заземления экрана, наличие транспозиции экранов и т.д.);
- составить программу проведения измерений для согласования с ответственным руководителем (максимальное напряжение и т.д.);
- выяснить возможность проведения диагностики КЛ с обоих «концов».



Рис. 5. Интенсивность возникновения ЧР на трёх фазах КЛ-110 кВ

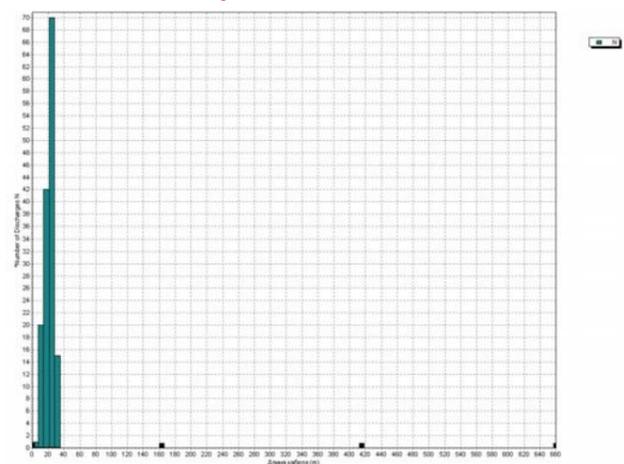


Рис. 6. Проблемные места на фазах «В»

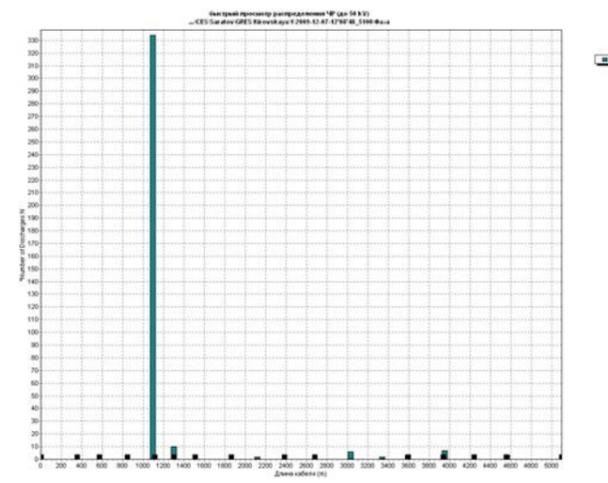
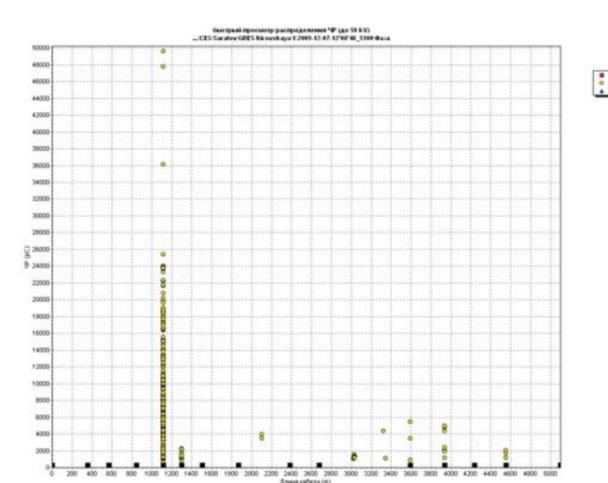


Рис. 7. Проблемные места на фазах «С»

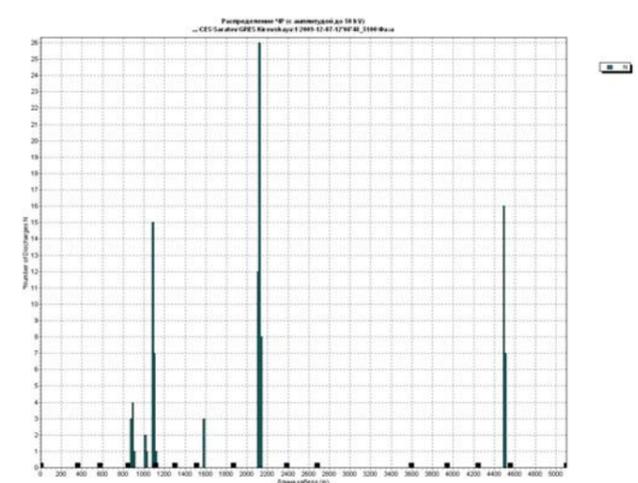
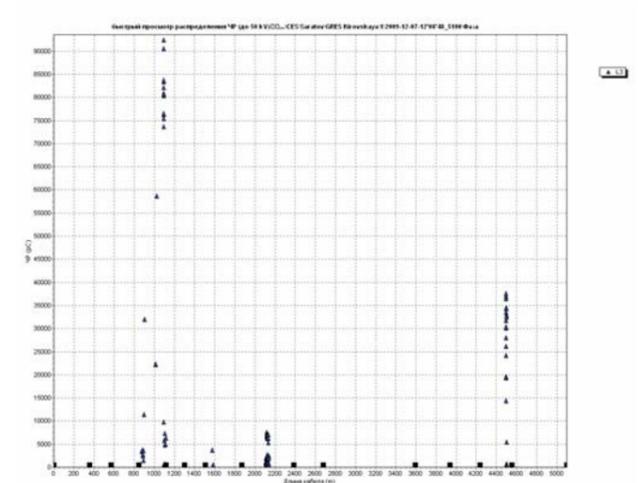


Таблица. Диагностика 16 кабельных линий напряжением 35 — 110 кВ

Место проведения диагностики	Количество обследованных КЛ	Повторное измерение	Результат диагностики
Москва	1	-	Обнаружены ЧР, даны рекомендации
Санкт-Петербург	1	-	Обнаружены ЧР, даны рекомендации
Саратов	8	8	Обнаружены ЧР, даны рекомендации
Воронеж	2	-	ЧР не обнаружены
Самара	4	2	Обнаружены ЧР, даны рекомендации
Оренбург	2	1	Обнаружены ЧР, даны рекомендации

Итого измерений: 29

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ

За период с сентября 2009 г. по октябрь 2011 г. специалистами ОАО «МРСК Волги» проведены работы по диагностике 16 кабельных линий напряжением 35—110 кВ в различных регионах России (табл.).

Две кабельные линии 110 кВ в Саратове длиной по 700 м каждая являются частью воздушно-кабельной линии, с одной стороны — КРУЭ, с другой — опора ВЛ. Диагностика проводилась совместно с подключением КЛ в КРУЭ. По результатам диагностики на всех фазах были выявлены ЧР на одинаковом расстоянии 0—20 м. По локализации ЧР можно судить о том, что с большой долей вероятности место возникновения ЧР находится либо внутри КРУЭ, либо в концевой муфте. На рис. 4 представлена карта распределения ЧР, на рис. 5 — интенсивность возникновения ЧР на трёх фазах КЛ-110 кВ.

Для подтверждения наличия дефекта в изоляции запланирована повторная диагностика данных КЛ с противоположного конца кабеля, что сделать в на-

стоящее время весьма затруднительно, так как концевые муфты расположены на высоте 15—20 м.

Что касается диагностики кабельных линий 35 кВ, то и здесь есть проблемы с изоляцией, при измерениях выявлены достаточно высокие уровни ЧР с низким напряжением зажигания.

На одной из линий при первой диагностике были обнаружены проблемные места на фазах «В» (рис. 6) и «С» (рис. 7).

Изоляция кабельной линии была испытана повышенным напряжением с частотой 0,1 Гц. По результатам повторной диагностики данные предыдущих измерений подтвердились, более того, присутствовали места, в которых наблюдалась устойчивая тенденция к увеличению интенсивности и повышению уровня ЧР. Данные места предположительно совпадали с расположением соединительных муфт. Спустя довольно короткий промежуток времени КЛ вышла из строя. Отыскание места повреждения строилось на основе результатов диагностики в зоне с наибольшей интенсивностью и наибольшим уров-

Рис. 8. Следы ЧР из-за некачественно выполненного монтажа



нем ЧР, что заметно сократило время, затраченное на поиск повреждения. Вместе с повреждённой муфтой была демонтирована «целая» на то время муфта на соседней фазе, так как при диагностике в ней были выявлены высокие уровни ЧР. После вскрытия данной «дефектной» муфты представителями фирмы Rauchert и специалистами ОАО «МРСК Волги» были обнаружены следы ЧР вследствие некачественно выполненного монтажа (рис. 8).

Диагностика КЛ с пропитанной бумажной изоляцией проводилась на кабеле типа АОСБ-35 3x150 35 кВ, проложенном в 1957 году. По длине линии, равной 5400 м, установлено более 100 соединительных муфт. В связи с этим карта распределения ЧР приняла вид «шкурки леопарда», т.е. мест возникновения разрядов оказалось достаточно много и максимальный их уровень около 2400 пКл, хотя интенсивность слабая (рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена эксплуатируются в России уже более 20 лет, но до сих пор отсутствует национальная нормативная база, в которой должны были бы найти отражение критерии оценки «опасности» возникновения ЧР (максимальная интенсивность, порог зажигания и гашения ЧР, значение максимального напряжения при проведении диагностики и т.д.), а также даны рекомендации по срокам повторной диагностики, выводе в ремонт и дальнейшей эксплуатации и обслуживании КЛ. Отсутствие нормативных документов в РФ затрудняет вынесение решения о возможности эксплуатации КЛ, а для эксплуатирующей организации это очень важно. Необходимо отметить, что, получив такой инструмент диагностики, как система OWTS HV 150, становится очевидным, что представление о техническом состоянии эксплуатируемых КЛ на основании только информации о высоковольтных испытаниях было недостаточным. В случае кабеля с пропитанной бумажной изоляцией, находящегося в эксплуатации длительный срок, понятно, что время неумолимо берёт своё и по результатам проведённых работ по диагностике и испытаниям правомерно ставить вопрос о целесообразности его дальнейшей эксплуатации и замене, имея в виду значительные затраты на восстановление повреждений и эксплуатацию. Другое дело с вновь смонтированными кабельными линиями 35—110 кВ с изоляцией из СПЭ. Здесь диагностика методом измерения и локализации ЧР позволяет на стадии пусконаладочных работ, до приёма КЛ в эксплуатацию, выявить целый ряд проблем, связанных с некачествен-

ным монтажом кабельной арматуры или прокладкой кабеля с нарушением технологии «джамшутами» из подрядных организаций. Прокладывать КЛ с изоляцией из СПЭ нужно «умеючи» — очень аккуратно и бережно, доверять данную работу специализированным организациям, имеющим опыт, квалифицированный персонал и необходимый набор технических средств, иначе кабельные линии превращаются в «мины замедленного действия», а мы становимся их заложниками, и возникающие ЧР в дальнейшем обязательно скажутся отрицательным образом на предполагаемой безаварийной и долговременной работе КЛ.

Диагностика КЛ для энергокомпаний — дело новое, и поэтому имеет место некоторое непонимание разницы между диагностикой и испытанием повышенным напряжением КЛ, особенно при принятии решения о возможности включения в работу КЛ. Так, в отличие от испытания повышенным напряжением, где применима грация, выдержал испытание или нет, годен — негоден к дальнейшей эксплуатации, диагностика кабеля проходит в щадящем режиме практически без стрессовых воздействий на изоляцию, работоспособность кабеля сохраняется, что позволяет оценить состояние и качество монтажа КЛ, запланировать объём финансирования восстановительных работ. Испытание номинальным фазным напряжением в течение 24 часов хотя и соответствует «Правилам технической эксплуатации станций и сетей», но не даёт достоверной информации о фактическом состоянии КЛ. Испытаниями на пониженной частоте 0,1 Гц, безусловно, можно и нужно заменить стандартные испытания выпрямленным напряжением, но, как показала практика, ими невозможно заменить диагностику ЧР системами OWTS.

Существенную роль в повышении надёжности и увеличении сроков безаварийного электроснабжения может сыграть инновационно-диагностический инжиниринговый центр, который будет выполнять работы по инжинирингу, диагностике, приёмосдаточным испытаниям, поиску мест повреждения, созданию методологии и нормативной базы, освоению новых приборов и методик, проведению технической экспертизы, анализу причин аварий, экспертной оценке проектов, проведению аттестации и созданию общей информационной базы данных кабельно-проводниковых материалов и электротехнических устройств. На этой базе можно создать учебный центр для внедрения современных методов монтажа, эксплуатации, ремонта и диагностики электрооборудования, работы с кабельными линиями, для подготовки и аттестации персонала и подрядных организаций для допуска к работам на объектах распределительных сетей.

Рис. 9. Карта распределения ЧР в кабеле с пропитанной бумажной изоляцией

