

# РУМ

РУКОВОДЯЩИЕ  
МАТЕРИАЛЫ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СЕТЕЙ



**4** ДИАГНОСТИКА ТОКОПРОВОДОВ  
С ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

**8** ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА  
ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ

**24** RUGRIDSELECTRO-2016  
ИТОГИ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ

**29** ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЛ 35- 750 кВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОПРОЧНЫХ  
И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОВОДОВ  
И ГРОЗОТРОСОВ, ВКЛЮЧАЯ ОКГТ

**72** ПРОВОДА НЕИЗОЛИРОВАННЫЕ ДЛЯ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ: НОВОЕ РОЖДЕНИЕ



АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

# Диагностика токопроводов с литой изоляцией

А.П. Долин, к. т. н., ООО НТЦ «ЭДС»

В последние годы на электрических станциях и подстанциях находят применения токопроводы с литой изоляцией. Область применения таких токопроводов в России ограничивается напряжением 35 кВ, за рубежом – 170 кВ. Рабочий ток токопроводов достигает 12 кА. В отечественной и зарубежной практике получили распространение пофазно изолированные литые токопроводы (ТПЛ) напряжением выше 1 кВ, предназначенные для использования во внутренних и наружных электроустановках.

ТПЛ состоят из однофазных секций (прямых или с поворотами) длиной до 10 м. Между секциями токопровода, устанавливаются соединительные муфты. Токопроводы могут иметь защитные кожуха (обязательные в наружных установках), изготовленные из гофрированного полиамида, нержавеющей стали или алюминия.

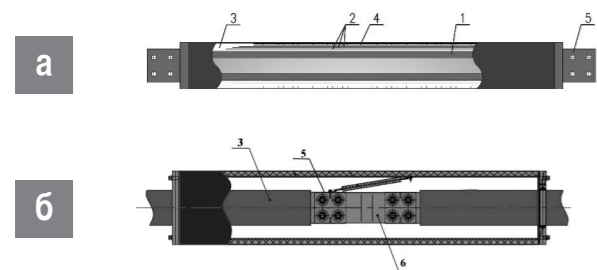


Рисунок 1 - Конструкции секции (а) и муфты (б) ТПЛ

Токоведущие шины 1 токопроводов (рисунок 1а, б) выполнены из алюминиевых сплавов или меди кольцевого (труба) или круглого (пруток) поперечного сечения. На концах шины каждой секции токопровода предусмотрены контакты 5. Изоляция 3 секции токопроводов изготовлена из крепированной бумаги и эпоксидного компаунда. Для выравнивания потенциала внутри изоляции секций предусмотрены полупроводящие слои, а также слой заземления 4. Секции каждой фазы токопровода соединяются компенсаторами температурных

деформаций 6 (рисунок 1б), как правило, пластинчатого типа. Соединительные муфты в зависимости от класса напряжения могут иметь воздушную изоляцию без полупроводящих слоев (до 12 кВ) и с полупроводящими слоями (до 72,5 кВ) или масляную изоляцию с полупроводящими слоями (выше 72,5 кВ). Выравнивающие обкладки каждой секции и муфты ТПЛ заземляются.

ТПЛ предназначены для передачи, а при использовании Т-образных муфт, распределения электроэнергии (и, соответственно, выполняют функции токопроводов, а также, при необходимости, сборных шин РУ). Изоляция ТПЛ рассчитана на рабочее напряжение и обеспечивает необходимый уровень электробезопасности в процессе эксплуатации. Токопроводы могут быть изготовлены для трасс различной конфигурации, компактны по конфигурации и удобны при прокладке в стеснённых условиях. Они изготавливаются для внутренних и наружных электроустановок, различных климатических районов и условий эксплуатации [1], могут использоваться в условиях морского климата, а также в зонах с неблагоприятными условиями атмосферы (например, вблизи предприятий металлургической, нефтехимической промышленности и др.). Монтаж ТПЛ не требует проведения сварочных работ. Токопроводы до 72,5 кВ пожаро- и взрывобезопасны. Кроме того, ТПЛ обладают достаточно высокой электродинамической и термической стойкостью, могут применяться в сейсмически активных районах, не требуют дополнительного охлаждения.

Токопровод ТКЛ формируется из секций токопровода различной геометрической формы (прямой или L-, T-, Z-образной секции). Длина секции, как правило, не превышает 4 м. В зависимости от номинального напряжения секция токопровода может содержать две (для постоянного тока) или три токоведущие шины среднего напряжения и до

пяти токоведущих шин для переменного тока напряжением до 1 кВ (рисунок 2). Каждая секция ТКЛ представляет собой залитую в эпоксидной смоле 1 алюминиевую (или медную) шину двух соответствующих геометрических форм (рисунок 2).

Концы шин в секциях свободны и дают возможность соединять между собой две различные секции, причем место соединения секций впоследствии также заливается эпоксидным компаундом. Конструкция секций ТКЛ для средних напряжений предусматривает дополнительное охлаждение шин посредством сквозных отверстий 3 (рисунок 2) между соседними фазами. Залитые в эпоксидной смоле втулки на секциях средних напряжений обеспечивают возможность крепления металлического кожуха токопровода. Для внутренней установки ТКЛ предусмотрен металлический кожух с отверстиями, а для наружной установки – сплошной.

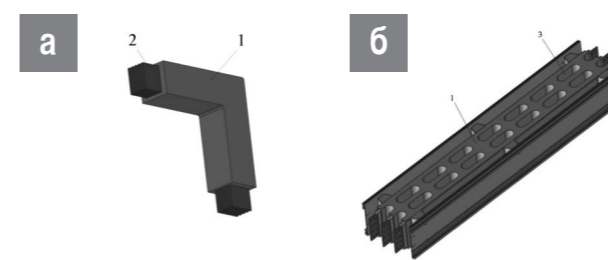


Рисунок 2 - Секции токопровода типа ТКЛ:  
а) L-образная секция напряжением до 1 кВ;  
б) прямая секция напряжением 10 кВ

Присоединение ТКЛ к электротехническому оборудованию осуществляется с помощью специальных терминальных элементов, которые изготавливаются индивидуально в зависимости от типа оборудования и способа присоединения.

Следует отметить, что ТПЛ имеют относительно высокую стоимость по сравнению с ТКЛ. В обоих типах токопроводов применяется большое число болтовых соединений токоведущих элементов; изоляция токопроводов не допускает значительных механических воздействий (ударов, несанкционированных нагрузок и т. п.). Нарушения при транспортировке, проведении такелажных и монтажных работ, условий хранения и эксплуатации могут приводить (а в ряде случаев уже приводили) к отказам токопроводов. В результате указанных нарушений, а также (в редких случаях) нарушений технологии

изготовления (брака) имели место дефекты контактных соединений, твердой изоляции, потеря контактов выравнивающих обкладок и заземления токопроводов.

Одним из направлений повышения надёжности токопроводов является необходимая подготовка монтажников, повышение контроля со стороны шеф-инженеров при производстве монтажных работ, строгое соблюдение инструкций при транспортировке, хранении и эксплуатации.

Также необходим эффективный контроль технического состояния токопроводов с литой изоляцией после монтажа и в процессе эксплуатации. Следует отметить, что требования к диагностическому контролю токопроводов с литой изоляцией, так же как и другого нового оборудования, отсутствуют в стандарте СО 34.45-51.300-97 [2]. Рекомендуемые производителями контрольные испытания токопроводов не всегда эффективны и достаточны для обнаружения дефектов (в том числе при вводе токопроводов в эксплуатацию).

Эксплуатационные (в том числе послемонтажные) испытания, рекомендуемые производителями и поставщиками токопроводов, включают испытание повышенным напряжением, измерения сопротивления постоянному току и в ряде случаев тепловизионный контроль. Следует отметить, что рекомендуемые методы (за исключением тепловидения) требуют вывода токопровода из работы. Кроме того, подача повышенного напряжения является разрушающим методом контроля технического состояния. Воздействие повышенного напряжения (особенно при значительном сроке эксплуатации) может спровоцировать в эпоксидно-бумажной изоляции развитие ЧР, которые могут привести к пробое изоляции в достаточно отдалённом будущем после проведения испытаний. Кроме того, опыт эксплуатации показывает, недостаточную эффективность рекомендуемых методов для обнаружения дефектов электрического характера, связанных с развитием частичных разрядов в изоляции, а также искровых разрядов в различных контактных соединениях (включая выравнивающие обкладки и систему заземления).

Для определения возможности диагностического контроля и проверки эффективности различных методов и измерительных систем для поиска дефектов токопроводов с литой изоляцией в эксплуа-

тационных условиях были проведены обследования и измерения электрических разрядов токопроводов напряжением 6 кВ (рисунок 3) на действующей подстанции под рабочим напряжением.

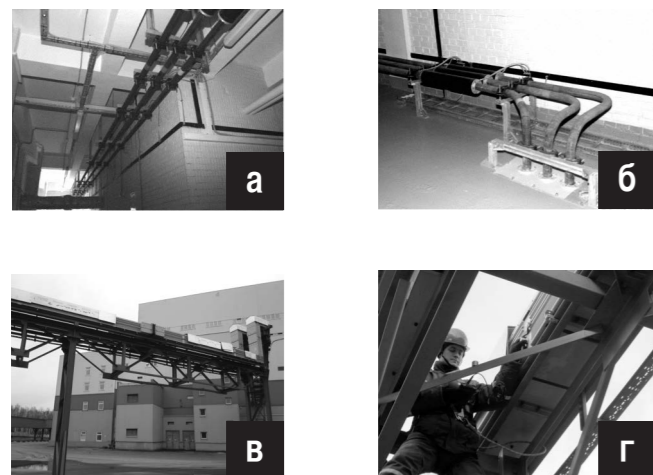


Рисунок 3 - Токопроводы с литой изоляцией напряжением 6 кВ: а), б) – типа ТПЛ; в), г) – типа ТКЛ

Следует отметить, что до проведенного обследования токопровода ТПЛ (рисунок 3а, б) на одной из муфт токопровода были отмечены периодические характерные для электрического разряда потрескивания, которые в темном помещении давали отблеск. Испытания повышенным напряжением однозначно не выявили место дефекта. Предполагаемая дефектная муфта фазы В была демонтирована и заменена на новую специалистами завода-производителя токопровода. В дальнейшем при разборке на заводе-изготовителе этой демонтированной муфты никаких дефектов не обнаружено. Других видов работ в зоне демонтированной муфты документально не зафиксировано. (Однако, нельзя исключить перенос проводника заземления с одного конца муфты соседней фазы на другой конец муфты). Через несколько дней после ремонта эксплуатационным персоналом вновь были зафиксированы разрядные явления. Повторные испытания повышенным напряжением всех фаз токопровода не привели к пробое. Эксплуатация токопровода на холостом ходу была продолжена.

Обследование проводилось в режиме холостого хода токопровода. Для поиска дефектов выполнены следующие работы:

- измерения ЧР и других электрических разрядов с использованием высокочастотных трансформаторов (датчиков-клещей), устанавливаемых

- на проводах заземления выравнивающих обкладок (экранов) секций и муфт токопровода;
- локация ЧР акустическим методом;
- локация ЧР в изоляции токопроводов электромагнитным (бесконтактным) методом по длине токопровода с использованием высокочастотного сканера и различного вида антенн (индукционных датчиков).

В результате обследования обнаружено два типа полезных сигналов, вызванных двумя разными дефектами. Так в одной из муфт фазы «А» зафиксировано искрение. Разряды фиксировались всеми измерительными методами (рисунки 4, 5 и 6а, б) и возникали периодически с интервалом 1-5 мин. и более. Дефектная фаза идентифицировалась по уровню сигнала.

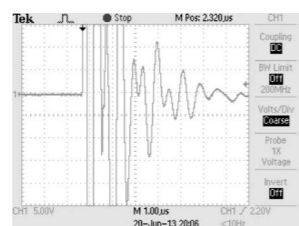


Рисунок 4 - Осциллограмма импульса искрового разряда при развертке 1 мкс/дел., зарегистрированного при помощи датчиков - высокочастотных трансформаторов с ферромагнитным сердечником, установленных на проводе заземления муфты экраны фазы А токопровода

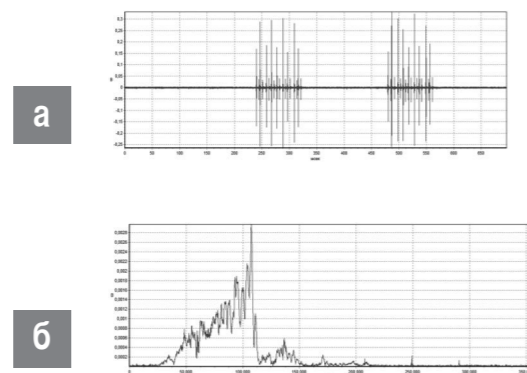


Рисунок 5 - Осциллограмма импульсов (а) и спектр акустического сигнала (б) зафиксированных бесконтактным способом (микрофоном) в момент искрения в муфте токопровода фазы «А» ТПЛ

Обнаруженный дефект визуально наблюдался со стороны фаз «В» и «С» в верхней части муфты в зоне соединения алюминиевого фланца и тела муфты. Как показал анализ полученных результатов (который подтвердили последующая разборка и осмотр муфты), искровые разряды вызваны потерей контакта алюминиевого фланца и выравнивающей потенциал обкладкой.

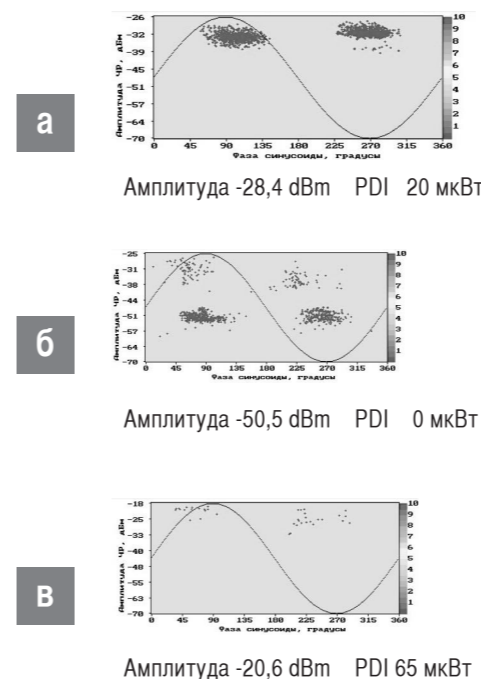


Рисунок 6 - Амплитудно-фазовое распределение импульсов, зарегистрированных высокочастотным сканером в момент искрения в экранах (а, б) и при отсутствии искрения (в). Кривая промышленной частоты напряжения получена от сети 0,4 кВ и не привязана к обследуемой фазе

Кроме того, электромагнитной локацией (рисунок 6б, в) и электрическим методом (рисунок 7) зафиксированы устойчивые (регулярные) разрядные процессы (частичные разряды) максимальной интенсивности которых сдвинута относительно искровых разрядов в фазе А примерно на 120 (-60) электрических градусов. Инструментально установлено, что уровень разрядов в зоне токопровода с дефектной муфтой снижается в одном направлении токопровода и возрастает в другом направлении ближе к соседнему кабельному помещению 6 кВ № 4. Сигнал зафиксирован и в некоторых других помещениях РУ 6 кВ. Источник ЧР однозначно не установлен, так как не было организационной возможности произвести измерения на всех отсеках токопровода. Источник может находиться в изоляции токопровода, отходящих кабельных линиях или муфтах (в том числе у трансформатора). По результатам измерений с высокой степенью вероятности ЧР находится в фазе «С».

Для исследования локации ЧР в изоляции токопроводов ТКЛ общей длиной ~ 1,5 км с применением электромагнитного бесконтактного или акустического метода в эксперименте был использован высокочастотный сканер (рисунок 3в, г).

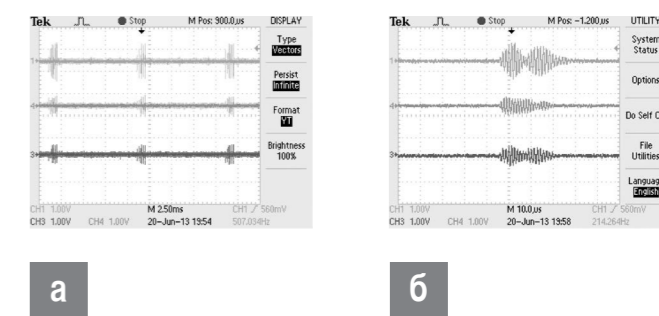


Рисунок 7 - Осциллограммы импульсов ЧР, зарегистрированные при помощи датчиков (высокочастотных трансформаторов), в момент отсутствия искрения: а) – на развертке 2,5 мс/дел. (1 период сетевой частоты), б) – на развертке 10 мкс/дел.

Так как у заказчика особое беспокойство вызывало состояние муфт, заливка которых проводилась в ненастную погоду (с соблюдением всех методов защиты согласно инструкции), эти зоны были обследованы наиболее тщательно, в том числе, с подъёмом на токопровод и, в ряде случаев, разборкой защитных экранов. Тем не менее, разрядных явлений в изоляции токопроводов не обнаружено. Эксплуатация этих токопроводов в течение следующих лет подтвердила правильность выводов диагностического обследования.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для обеспечения эксплуатационной надёжности и безопасности при обслуживании токопроводов с литой изоляцией необходимо:

1. проводить измерение ЧР при послемонтажном и периодическом эксплуатационном диагностическом контроле;
2. включить указанное требование в инструкции по эксплуатации токопроводов, а также в новую редакцию стандарта, регламентирующего объём и нормы испытаний электрооборудования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
2. СО 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования.