


ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»

РЕКОМЕНДАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ
Член Правления,
начальник Департамента по
транспортировке, подземному
хранению и использованию газа

 Б.В. Будзуляк

« 03 » ноября 2006 г.

**Методика по техническому диагностированию кабельных линий
напряжением 6 и 10 кВ энергохозяйства ОАО «Газпром»**

Р Газпром

РАЗРАБОТАНО:
Генеральный директор
ООО «Газпромэнергодиагностика»



С.В. Власов

2006 г.

Москва 2006

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Обществом с ограниченной ответственностью
«Газпромэнергодиагностика»

2 ВНЕСЕНЫ Управлением энергетики Департамента по
транспортировке, подземному хранению и использованию газа
ОАО «Газпром»

3 УТВЕРЖДЕНЫ Членом Правления, начальником Департамента по
транспортировке, подземному хранению и использованию газа
ОАО «Газпром» Б.В. Будзуляком «03 » ноября 2006 г.

4 ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ с 01 февраля 2007г.

Содержание

	Введение	
1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки.....	1
3	Термины, определения и сокращения.....	3
4	Общие положения.....	5
5	Порядок проведения работ по техническому диагностированию кабельной линии.....	5
6	Правила анализа и принятия решений по диагностической информации.....	18
7	Рекомендации к оформлению отчетной документации.....	21
8	Меры безопасности при проведении работ.....	22
Приложение А	(рекомендуемое) Перечень работ по диагностике технического состояния кабельной линии.....	23
Приложение Б	(рекомендуемое) Форма паспорта технического состояния кабельной линии	25
Приложение В	(рекомендуемое) Форма предварительного заключения по результатам обследования кабельной линии	52
Приложение Г	(рекомендуемое) Определение удельного сопротивления грунта.....	53
Приложение Д	(рекомендуемое) Справочные значения величины сопротивления заземления.....	56
Приложение Е	(рекомендуемое) Измерение сопротивления заземления.....	58
Приложение Ж	(рекомендуемое) Дефекты и ремонт заземляющих устройств, проводников и их соединений.....	63
Приложение И	(рекомендуемое) Измерение сопротивления изоляции жил кабеля.....	64
Приложение К	(рекомендуемое) Виды дефектов и их выявление в процессе импульсной рефлектометрии	67
Приложение Л	(рекомендуемое) Измерение возвратного напряжения установкой CDS.....	74
Приложение М	(рекомендуемое) Измерение изотермического тока релаксации установкой CDS	80
Приложение Н	(рекомендуемое) Измерение частичных разрядов в изоляции системой OWTS.....	82
Приложение П	(рекомендуемое) Диэлектрическая спектроскопия изоляции установкой IDA	90

2006

Приложение Р (рекомендуемое) Трассопоисковые работы.....	94
Приложение С (рекомендуемое) Выявление и оценка дефектов при тепловом контроле.....	99
Приложение Т (рекомендуемое) Критерии неработоспособного состояния кабельной линии.....	108
Библиография.....	111

Введение

Цель внедрения рекомендаций – развитие системы технического диагностирования энергетического оборудования, необходимой для перехода к техническому обслуживанию и ремонту оборудования и сооружений энергохозяйства ОАО «Газпром» по техническому состоянию. Документ разработан в соответствии с СТО РД Газпром 39-1.10-083-2003 «Положение о системе технического диагностирования оборудования и сооружений энергохозяйства ОАО «Газпром».

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»
РЕКОМЕНДАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ

МЕТОДИКА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ КАБЕЛЬНЫХ
ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6 И 10 КВ ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВА ОАО «ГАЗПРОМ»

1 Область применения

1.1 В настоящем документе изложены рекомендации к периодичности, последовательности, составу работ, выполняемых при техническом диагностировании кабельных линий напряжением 6 и 10 кВ, эксплуатируемых в структурных подразделениях, дочерних обществах и организациях ОАО «Газпром» и документальному оформлению результатов диагностирования.

1.2 Положения настоящего документа рекомендованы для применения структурными подразделениями, дочерними обществами и организациями ОАО «Газпром», а также сторонними диагностическими организациями, осуществляющими эксплуатацию, техническое диагностирование, техническое обслуживание и ремонт кабельных линий среднего напряжения энергохозяйства ОАО «Газпром».

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

2006

ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические.

Термины и определения

ГОСТ 1516.2-97 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции

ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции

ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения

ГОСТ 20074-83 Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов

ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения

ГОСТ 25866-83 Эксплуатация техники. Термины и определения

ГОСТ 26656-85 Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования

ГОСТ 27518-87 Диагностирование изделий. Общие требования

МЭК 60270:2000 Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов

СТО РД Газпром 39-1.10-083-2003 Положение о системе технического диагностирования оборудования и сооружений энергохозяйства ОАО «Газпром»

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящими рекомендациями следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящих рекомендациях применены термины по ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911, а также следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

3.1 частичный разряд; ЧР: Локализованный электрический разряд, частично шунтирующий изоляцию между проводниками, который может происходить как рядом, так и не рядом с проводником.

3.2 импульс частичного разряда; импульс ЧР: Импульс тока или напряжения в результате действия частичного разряда, возникшего в испытуемом объекте.

3.3 заземляющее устройство; ЗУ: Совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

3.4 кабельная линия электропередачи; КЛ: Линия для передачи электроэнергии или отдельных ее импульсов, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.

3.5 рефлектограмма: Графическое отображение зондирующих и отраженных импульсов в тестируемой линии.

3.6 сшитый полиэтилен; СПЭ: Изоляционный материал, получаемый путем применения пероксидной или силановой технологии для улучшения технических характеристик полиэтиленовой изоляции, используется при производстве современных силовых кабелей.

3.7 исправное состояние: Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативной и технической документации.

3.8 неисправное состояние: Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативной и технической документации.

2006

3.9 работоспособное состояние: Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной и технической документации.

3.10 неработоспособное состояние: Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативной и технической документации.

3.11 диагностический (контролируемый) параметр: Параметр объекта, используемый при его диагностировании (контроле).

3.12 критерий: Признак, на основании которого производится определение соответствия диагностического параметра требованиям нормативной и технической документации.

БПИ – бумажная пропитанная изоляция.

БКС – болтовое контактное соединение.

4 Общие положения

4.1 Объектами технического диагностирования в рамках данных рекомендаций являются:

- кабели силовые напряжением 6 и 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией;
- кабели силовые напряжением 6 и 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- концевые кабельные муфты и заделки;
- соединительные кабельные муфты;
- контактные соединения кабельной линии;
- трасса кабельной линии.

4.2 Целью работ по техническому диагностированию кабельных линий напряжением 6 и 10 кВ является:

- определение вида технического состояния;
- поиск места отказа или неисправностей;
- установление причин неисправностей, определение состава и срока ремонтно-восстановительных работ;
- прогнозирование технического состояния и составление рекомендаций по дальнейшей эксплуатации КЛ.

4.3 Работы по техническому диагностированию КЛ проводятся специализированными организациями, которые соответствуют требованиям к кадровому составу и техническому оснащению, изложенным в СТО РД Газпром 39-1.10-083 и в данных рекомендациях.

5 Порядок проведения работ по техническому диагностированию кабельной линии

5.1 Работы по техническому диагностированию КЛ рекомендуется проводить два этапа.

2006

5.1.1 Первый этап включает в себя:

- сбор технической документации на обследуемую КЛ;
- ознакомление с условиями эксплуатации, дефектной ведомостью и технической документацией на обследуемую КЛ;
- составление программы работ, проведение инструктажей, оформление наряда-допуска;
- подготовку и проверку приборов и диагностического оборудования для проведения измерений;
- визуально-оптический контроль КЛ;
- определение удельного сопротивления грунта;
- проверку элементов заземляющего устройства и соединений заземлителей с заземляемыми элементами;
- измерение сопротивления заземления концевых муфт и заделок КЛ;
- измерение сопротивления изоляции жил КЛ;
- тестирование КЛ рефлектометром;
- измерение частичных разрядов;
- измерение возвратного напряжения;
- измерение тангенса угла диэлектрических потерь (в рамках данных рекомендаций применение метода рассмотрено для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией);
- измерение изотермического тока релаксации (в рамках данных рекомендаций применение метода рассмотрено для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена);
- определение трассы КЛ;
- измерение распределения температуры по КЛ в целом;
- термографию вертикальных участков КЛ, соединительных и концевых муфт, контактных соединений, проходных изоляторов;
- формирование термограмм, обработку и анализ результатов теплового контроля;

2006

- составление предварительного заключения о техническом состоянии КЛ и передача его заказчику;

- составление и подписание актов о выполненных работах.

В зависимости от типа, состояния КЛ и результатов предыдущих обследований, разрешается использовать при диагностировании один из трех методов:

- метод измерения частичных разрядов;
- метод измерения возвратного напряжения;
- метод диэлектрической спектроскопии.

5.1.2 Второй этап включает в себя:

- анализ технической документации на обследуемую КЛ;
- обработку и анализ результатов диагностического обследования КЛ;
- разработку заключения и рекомендаций по техническому состоянию КЛ;
- заполнение и оформление паспорта технического состояния оборудования;
- ввод информации в базу данных;
- передачу результатов технической диагностики КЛ заказчику.

Рекомендуемый перечень работ по диагностическому обследованию кабельной линии приведен в приложении А.

5.2 Анализ технической документации

5.2.1 Анализ технической документации на КЛ выполняется с целью:

- внесения в паспорт технического состояния информации о дате ввода КЛ в эксплуатацию, типе кабеля, типах установленных муфт, трассе КЛ, о проводившихся испытаниях и ремонтах;

- установления соответствия фактических условий эксплуатации обследуемого объекта паспортным данным;

- определения динамики изменения технического состояния обследуемого объекта;

- получения базовой информации для составления прогноза технического состояния, рекомендаций по эксплуатации и проведению ремонта.

5.2.2 При анализе рекомендуется изучить следующую документацию:

2006

- документация завода изготовителя кабеля;
- чертеж кабельной линии;
- проект кабельной линии;
- кабельный журнал;
- схема электроснабжения объекта;
- протоколы штатных измерений и испытаний;
- акты выполненных ремонтных работ;
- ремонтная ведомость;
- паспорт технического состояния обследуемого объекта.

Особое внимание рекомендуется уделять анализу сведений о повреждениях кабеля и о причинах, приведших к ним.

5.2.3 Сведения об использовании технической документации отражаются в Формуляре 2 паспорта технического состояния КЛ. Сведения о проводившихся испытаниях и ремонтных работах вносятся в Формуляр 4 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.3 Составление программы работ

5.3.1 После проведения анализа технической документации составляется программа работ по техническому диагностированию кабельной линии с учетом индивидуальной специфики обследуемой КЛ.

5.3.2 Программа работ составляется руководителем бригады, ответственным за выполнение работ по техническому диагностированию КЛ.

5.4 Визуально-оптический контроль

5.4.1 Визуально-оптический контроль КЛ предшествует проведению испытаний и измерений. Его проводят в соответствии с РД 03-606-03 [5] для обнаружения видимых повреждений, определения состояния элементов КЛ (участков кабеля, соединительных и концевых муфт и др.) и трассы КЛ (эстакады, короба, проходки и др.).

5.4.2 При осмотре выявляются кабели со следующими видимыми дефектами:

2006

- дефекты и нарушения наружных оболочек (трещины, вздутия, разбухания, порезы, сколы, вмятины и т.д.);

- повреждения металлических оплеток (вмятины, разрывы, коррозия).

5.4.3 Особое внимание рекомендуется уделять участкам кабелей, расположенных в кабельных проходках, в стенах и перекрытиях помещений.

5.4.4 При осмотре кабелей выделяются следующие потенциально опасные места:

- участки кабелей с минимальными радиусами изгибов и в точках крепления амортизируемого оборудования;

- участки кабелей в зонах наличия постоянных механических вибраций;

- участки кабелей, примыкающие к острым кромкам корпусов оборудования и конструкций;

- участки кабелей около осветительных и нагревательных приборов;

- места присоединений кабелей;

- соединительные муфты;

- концевые заделки и муфты;

- вертикальные участки кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.

5.4.5 При обнаружении внешних повреждений на участке хотя бы одного кабеля рекомендуется выполнить тщательный осмотр соседних кабелей.

5.4.6 Для детального рассмотрения удаленных объектов и фиксирования дефектов рекомендуется применять цифровой фотоаппарат с оптическим увеличением не менее $\times 10$.

5.4.7 Результаты проведенного визуально-оптического контроля фиксируются в предварительном заключении по результатам обследования КЛ (приложение В) и в Формуляре 5 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.4.8 По результатам проверки вырабатываются рекомендации для проведения ремонтных работ. Рекомендации заносятся в предварительное заключение по результатам обследования КЛ (приложение В) и в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

2006

5.5 Контроль заземления кабельной линий и коррозионной активности грунта

5.5.1 На первом этапе определяется удельное сопротивление грунта с целью:

- получения критерия оценки величины сопротивления заземления концевых заделок, муфт;
- определения коррозионной активности грунта.

Удельное сопротивление грунта измеряется по методике, приведенной в приложении Г.

Степень коррозионной активности грунта по отношению к металлическим оболочкам кабелей определяется в соответствии с таблицей Г.2

На основании данных о коррозионной активности грунта проводится проверка соответствия технических характеристик КЛ требованиям ПУЭ [4] по защите от коррозии; принимается решение о визуальном осмотре участка КЛ со вскрытием грунта.

Результаты измерений удельного сопротивления грунта фиксируются в предварительном заключении по результатам обследования КЛ (приложение В) и в Формуляре 8 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.5.2 На втором этапе измеряется сопротивление заземления концевых муфт, заделок с двух концов КЛ. Измерения рекомендуется проводить одним из методов, описанных в приложении Е.

Требования к величине сопротивления заземления концевых муфт, заделок установлены в РД 34.45-51.300- 97 [1]. В таблице Д.1 приведены нормативные параметры величины сопротивления ЗУ.

Значения сопротивления заземлений с обоих концов КЛ вносятся в лист предварительного заключения по результатам обследования КЛ (приложение В) и в Формуляр 8 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

Результаты измерений и вычислений значений сопротивлений сравниваются с допустимыми значениями сопротивлений заземлений, приведенными в таблице Д.1.

2006

Рекомендации для проведения ремонтных работ вырабатываются в соответствии с таблицей Ж.1. Рекомендации заносятся в предварительное заключение по результатам обследования КЛ, форма которого приведена в приложение В, и в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.5.3 На третьем этапе определяется качество монтажа и соответствие сечения заземляющих концевые заделки и муфты проводников требованиям ПУЭ [4].

Болтовые соединения должны быть надежно затянуты, снабжены контргайкой и пружинной шайбой. При исправном состоянии контактного соединения величина переходного сопротивления не должна превышать 0,05 Ом.

Проводится замер сечения проводников соединений заземляемых элементов с заземляющим устройством и сравнение с проектными параметрами ПУЭ [4].

Результаты проверки соединений заземлителей с заземляемыми элементами фиксируются в Формулярах 5, 8 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

По результатам проверки соединений заземлителей с заземляемыми элементами вырабатываются рекомендации для проведения ремонтных работ в соответствии с таблицей Ж.1. Рекомендации заносятся в предварительное заключение по результатам обследования КЛ (приложение В) и в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.6 Контроль сопротивления изоляции жил кабеля

5.6.1 Контроль производится на отсоединенном с обоих концов кабеле мегомметром при постоянном напряжении 2500В с целью:

- оценки качества изоляции;
- выявления грубых нарушений целостности изоляции и вполне развившихся местных дефектов (заземление фаз, короткое замыкание между фазами и пр.).

5.6.2 Длительность непрерывного измерения сопротивления составляет 10 минут. Отношение величин сопротивлений, измеренных через 10 минут и через 1

2006

минуту после начала измерений, называется индексом поляризации P_I . Значение P_I не зависит от температуры. По индексу поляризации оценивается состояние изоляции кабеля в соответствии с таблицей И.1.

5.6.3 Измерение сопротивления изоляции, определение P_I и оценка технического состояния КЛ проводится по методу, описанному в приложении И.

5.6.4 Данные о сопротивлении изоляции и P_I заносятся в Формуляр 7 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.6.5 Результаты измерения сопротивления изоляции используются для выдачи предварительного заключения (приложение В).

5.6.6 Результаты используются для выдачи заключения и рекомендаций, записываемых в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.7 Тестирование кабельной линии рефлектометром

5.7.1 В ходе работ по данному методу (приложение К) производится:

- зондирование кабеля импульсами напряжения;
- прием импульсов, отраженных от мест повреждения и неоднородностей волнового сопротивления;
- выделение отражений от места повреждений на фоне помех;
- определение расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

5.7.2 Применение метода импульсной рефлектометрии позволяет обнаружить и локализовать:

- короткое замыкание жил кабеля на землю;
- короткое замыкание жил кабеля между собой;
- обрыв жилы кабеля;
- низкоомные дефекты в изоляции кабеля, вызванные увлажнением или какими-либо другими причинами;
- емкостные дефекты в изоляции кабеля;

5.7.3 Тестирование рефлектометром позволяет определить:

- длину обследуемого кабеля по известному коэффициенту его укорочения;

2006

- количество и местоположение соединительных муфт;
- количество кабелей, входящих в состав КЛ;
- длину отрезков кабелей, входящих в состав КЛ, если известны коэффициенты укорочения для кабелей отрезков.

5.7.3 Полученные данные заносятся в Формуляр 9 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.7.4 Результаты тестирования КЛ методом импульсной рефлектометрии используются для выдачи предварительного заключения (приложение В), заключения и рекомендаций, записываемых в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.8 Техническое диагностирование методом измерения возвратного напряжения

5.8.1 Метод измерения возвратного напряжения рекомендуется применять для определения технического состояния силовых кабелей среднего напряжения с бумажной пропитанной изоляцией.

5.8.2 В процессе работы производится регистрация величины возвратного напряжения, определяемой токами релаксации зарядовых состояний, образующихся на дефектах изоляции. Сначала между жилой и экраном кабеля на 30 минут прикладывается постоянное напряжение, затем следует разряд емкости кабеля за 2 секунды и регистрация изменения напряжения между экраном кабеля и жилой во времени в течение 30 минут. Степень старения и содержания влаги в изоляции КЛ определяется по результатам анализа кривых изменения возвратного напряжения.

5.8.3 Для обеспечения разрядки кабеля рекомендуется отключить и заземлить жилы кабеля за три часа до начала измерений. Непосредственно перед проведением измерений кабель отключается от заземляющих проводников с обоих концов. После проведения измерений кабель заземляется на час.

5.8.4 Для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией проводятся два цикла измерений, отличающихся величиной зарядного напряжения, которая составляет 1 кВ и 2 кВ.

2006

5.8.5 В процессе диагностики КЛ не испытывает повреждающих воздействий. Величина прикладываемого постоянного напряжения не превышает амплитудного значения номинального напряжения КЛ.

5.8.6 Данные, полученные в процессе технического диагностирования методом измерения возвратного напряжения, и технический диагноз заносятся в Формуляр 10 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.8.7 В соответствии с результатами, полученными методом измерения возвратного напряжения, дается заключение о техническом состоянии КЛ и вырабатываются рекомендации, которые записываются в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.9 Техническое диагностирование методом измерения изотермического тока релаксации

5.9.1 Метод измерения изотермического тока релаксации применяется для определения технического состояния силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена.

5.9.2 В процессе работы производится регистрация изотермического тока релаксации. Сначала между жилой и экраном кабеля на 30 минут прикладывается постоянное напряжение, затем – разряжается емкость кабеля и регистрируется изменение во времени величины тока между экраном кабеля и жилой в течение 30 минут. Анализ кривой изменения изотермического тока релаксации показывает степень повреждения СПЭ изоляции кабеля "водными деревьями".

5.9.3 За три часа до начала измерений отсоединяются и заземляются жилы кабеля для обеспечения его разрядки. Непосредственно перед проведением измерений кабель отсоединяется от заземляющих проводников с обоих концов. После проведения измерений кабель заземляется на один час.

5.9.4 В процессе диагностики КЛ не испытывает повреждающих воздействий. Величина прикладываемого постоянного напряжения не превышает амплитудного значения номинального напряжения КЛ.

5.9.5 Данные, полученные в процессе технического диагностирования методом измерения изотермического тока релаксации, и результат определения

2006

технического состояния заносятся в Формуляр 10 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.9.6 На основе анализа данных, полученных методом измерения изотермического тока релаксации, дается заключение о техническом состоянии КЛ и рекомендации, которые заносятся в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.10 Техническое диагностирование методом измерения частичных разрядов

5.10.1 Метод измерения ЧР используется для технического диагностирования силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией и силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

5.10.2 В ходе работ производится измерение параметров ЧР, обнаруживаются и локализовываются участки КЛ, имеющие дефекты в изоляции.

5.10.3 Измерения проводятся на отключенной и отсоединенной с обоих концов КЛ. Источником напряжения служит измерительная установка.

5.10.4 В процессе диагностики КЛ не испытывает повреждающих воздействий. Величина прикладываемого постоянного напряжения не превышает амплитудного значения номинального напряжения КЛ.

5.10.5 Данные, полученные в процессе технического диагностирования, заносятся в Формуляр 12 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.10.6 На основе анализа данных, полученных методом измерения ЧР, дается заключение о техническом состоянии КЛ и рекомендации, которые заносятся в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.11 Техническое диагностирование методом диэлектрической спектроскопии

5.11.1 Для определения технического состояния силовых кабелей напряжением 6 и 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией по методу диэлектрической спектроскопии (приложение П) производится измерение тангенса угла диэлектрических потерь ($\operatorname{tg} \delta$) изоляции жил кабеля в диапазоне

2006

частот от 0,01 до 1000 Гц. Из полученного ряда значений $\operatorname{tg} \delta$ выбирается минимальное, которое далее используется для оценки состояния изоляции кабеля.

5.11.2 Анализ полученных данных дает общую оценку степени старения изоляции или процентного содержания влаги в изоляции. В таблице П.1 приведены нормативные значения $\operatorname{tg} \delta$ и влажности изоляции для определения ее технического состояния.

5.11.3 В процессе диагностики КЛ не испытывает повреждающих воздействий. Величина прикладываемого напряжения составляет 120 В.

5.11.4 Данные, полученные в процессе технического диагностирования, заносятся в Формуляр 11 паспорта технического состояния КЛ.

5.11.5 На основе анализа данных, полученных методом диэлектрической спектроскопии, дается заключение о техническом состоянии КЛ и рекомендации, которые заносятся в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.12 Составление схемы трассы кабельной линии

5.12.1 Трасса кабельной линии, определяемая проектом, наносится на рабочий план трассы КЛ.

5.12.2 На рабочий план рекомендуется нанести контуры зданий, дороги, трубопроводы и другие постоянные ориентиры; указать расстояния от КЛ до существующих постоянных ориентиров (привязок). Привязки рекомендуется давать через каждые 50 метров на прямых участках трассы и во всех случаях изменения направления трассы КЛ.

5.12.3 При отсутствии плана трассы КЛ или при необходимости уточнения существующего плана трассы КЛ выполняются работы по обнаружению КЛ и определению привязок трассы на местности.

5.12.4 Обнаружение КЛ, проложенных под землей, осуществляется с использованием поискового оборудования методами, описанными в приложении Р.

2006

5.12.5 План трассы КЛ выполняется в масштабе, зависящем от сложности и заполнения плана сооружениями, и заносится в Формуляр 13 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.13 Тепловой контроль

5.13.1 Измерение распределения температуры рекомендуется выполнить на всех доступных для наблюдения участках КЛ, в том числе:

- вертикальных участках;
- соединительных и концевых муфт;
- контактных соединениях;
- элементах способных влиять на тепловое состояние КЛ.

5.13.2 Контролируемая КЛ в момент обхода должна быть под напряжением.

Контроль контактных соединений производится в соответствии с РД 34.45-51.300- 97 [1] при нагрузке не менее 30 % от номинальной.

Контроль изоляции КЛ рекомендуется начинать не ранее, чем через шесть часов после подачи напряжения на КЛ.

5.13.3 Проверка температуры контактных соединений проводится на заключительном этапе обследования КЛ, когда восстановлено подсоединение с обоих концов КЛ, после всех видов диагностики, требовавших демонтажа контактных соединений.

5.13.4 Дефектные места, фиксируемые с помощью тепловизора в виде термограмм, рекомендуется фотографировать в том же ракурсе. Термограммы и фотографии заносятся в Формуляр 6 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.13.5 Оценка теплового состояния КЛ и ее частей в зависимости от условий их работы и конструкции может осуществляться:

- по нормированным температурам нагрева (превышениям температуры);
- избыточной температуре;
- коэффициенту дефектности;
- динамике изменения температуры во времени;
- при изменении нагрузки;

2006

- путем сравнения измеренных значений температуры в пределах фазы и между фазами, с заведомо исправными участками и т.п.

5.13.6 Выявление дефектов рекомендуется производить в соответствии с указаниями и нормативами, изложенными в приложении С.

5.13.7 Полученные результаты заносятся в Формуляр 6 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

5.13.8 На основе анализа данных, полученных при тепловом контроле, дается заключение о техническом состоянии КЛ и рекомендации, которые заносятся в предварительное заключение по результатам обследования кабельной линии (приложение В) и в Формуляр 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

6 Правила анализа и принятия решений по диагностической информации

6.1 При проведении технического диагностирования КЛ выявляются дефекты и определяются значения диагностических параметров.

6.2 Проводится анализ диагностических параметров, выполняемый на основании информации, полученной при техническом диагностировании и анализе технической документации.

6.3. Техническое состояние изоляции кабеля, соединительных муфт и концевых муфт, заделок рекомендуется определять в результате анализа следующих параметров:

- индекса поляризации P_I ;
- сопротивления изоляции $R_{И}$;
- тока утечки $I_{у}$;
- отношения значения производных в начале кривых возвратного напряжения, γ ;
- отношения возвратных напряжений $k(t)$;
- формы кривых возвратных напряжений;

2006

- максимальной величиной ЧР в локальном месте q ;
- напряжения возникновения ЧР $U_{вчр}$;
- напряжения исчезновения ЧР $U_{ичр}$;
- среднего количества ЧР в локальном месте за один цикл измерения N ;
- процента содержания влаги W ;
- минимума $\text{tg } \delta$;
- температуры нагрева T ;
- превышения температуры ΔT ;
- коэффициента дефектности k_d ;
- избыточной температуры $\Delta T_{0,5}$ при токе нагрузки $0,5 \cdot I_{ном}$.

6.4 Техническое состояние заземляющих устройств рекомендуется определять в результате анализа следующих параметров:

- значения сопротивления цепи заземления $R_{3у}$;
- значения удельного сопротивления грунта ρ ; _____
- надежности соединения заземляющего проводника с заземляемым элементом;
- площади поперечного сечения заземляющих проводников;
- наличия (отсутствия) повреждений или обрывов заземляющих проводников.

6.5 Техническое состояние элементов кабельных сооружений и трассы КЛ определяется в соответствии с нормативными требованиями, изложенными в РД 34.45-51.300- 97 [1], ПУЭ [4].

6.6 В зависимости от выявленных дефектов и значений диагностических параметров элементов КЛ анализ может состоять из одного, двух или трех последовательно выполняемых этапов.

6.7 На первом этапе анализа проверяется соответствие значений диагностических параметров нормативным требованиям, изложенным в РД 34.45-51.300-97 [1], ПУЭ [4], в нормативной документации и данных рекомендациях.

2006

При соответствии диагностических параметров требованиям эксплуатационной и нормативной документации, а также критериям, изложенным в данных рекомендациях, техническое состояние КЛ оценивается как «исправное» и дальнейший анализ не проводится.

Срок продления эксплуатации определяется сроком проведения следующего обследования, определенного в ходе технической диагностики.

При несоответствии диагностических параметров установленным требованиям проводится дальнейший анализ.

6.8 На втором этапе проверяется соответствие значений диагностических параметров критериям работоспособности, в соответствии с таблицей Т.1. При соответствии значений диагностических параметров критериям работоспособности состояние КЛ оценивается как «неисправное работоспособное», и разрабатываются рекомендации по технической эксплуатации или проведению восстановительного ремонта дефектных элементов.

В противном случае техническое состояние КЛ оценивается как «неработоспособное».

6.9 Если состояние КЛ оценивается как «неработоспособное», тогда рассматривается технико-экономическое обоснование возможности перевода КЛ в «работоспособное» состояние посредством восстановительного ремонта или замены дефектных элементов.

В случае если мероприятия по переводу КЛ из «неработоспособного» состояния в «работоспособное» технически нереализуемы или экономически нецелесообразны, принимается решение о невозможности продления срока эксплуатации КЛ.

6.10 Технически обоснованное решение о возможности продления срока безопасной эксплуатации и назначении срока следующего диагностического обследования принимается руководителем диагностической бригады специализированной организации, проводящей работы по техническому диагностированию.

2006

6.11 В заключении по результатам обследования технического состояния указываются:

- все обнаруженные неисправности и место их расположения;
- вид технического состояния КЛ;
- прогноз технического состояния КЛ;
- рекомендованный объем ремонтных работ по выявленным неисправностям;
- рекомендации по изменению условий эксплуатации (при необходимости);
- срок следующего технического диагностирования КЛ.

6.12 Для кабелей, состояние которых близко к аварийному, рекомендуется повторное обследование по данной методике с целью выяснения тенденции изменения состояния.

Заключение о техническом состоянии, рекомендации по технической эксплуатации и проведению ремонтов, решение о продлении срока безопасной эксплуатации и назначении срока следующего диагностического обследования оформляются в Формуляре 14 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

7 Оформление отчетной документации

7.1 Состав регистрируемых данных приведён в паспорте технического состояния КЛ (приложение Б).

7.2 После проведения обследований составляются:

- протокол предварительного анализа данных (приложение В);
- акт проведения работ, который утверждается заказчиком.

7.3 По окончании работ в специализированный диагностический центр подрядчиком передается паспорт технического состояния обследованной КЛ (приложение Б). Паспорт предоставляется на бумажном носителе в двух экземплярах, оформленных со стороны подрядчика и в электронном виде на цифровом носителе.

2006

7.4 Информация, содержащаяся в паспорте технического состояния КЛ, поступившего в специализированный диагностический центр, после проверки заносится в отраслевую диагностическую базу данных энергетического оборудования энергохозяйств ОАО "Газпром".

7.5 Специализированный диагностический центр отправляет заказчику оформленный с их стороны паспорт технического состояния КЛ на бумажном носителе, а так же в электронном виде на цифровом носителе.

8 Меры безопасности при проведении работ

8.1 При выполнении работ по техническому диагностированию КЛ среднего напряжения соблюдаются соответствующие требования и указания, изложенные в ПТЭЭУ [2], ПОТ Р М-016-2001 [3], ПУЭ [4].

8.2 При работе выполняются указания, изложенные в инструкциях и руководствах по эксплуатации используемых приборов и оборудования.

Приложение А (рекомендуемое)

Перечень работ по диагностике технического состояния кабельной линии

Таблица А.1

Наименование работ	Единица измерения	Кол-во
Изучение работы оборудования, анализ его технического состояния	единица оборудов.	1
Ознакомление с дефектной ведомостью и технической документацией на оборудование	единица оборудов.	1
Разработка программы испытаний оборудования	лист формата А4	2
Проведение инструктажа	инстр.	1
Оформление наряда-допуска (распоряжения)	наряд	1
Подготовка и проверка прибора для электромагнитных или электромеханических измерений	прибор	11
Измерение удельного эл. сопротивления грунта	измер.	2
Измерение сопротивления цепи заземления	измер.	2
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме ($U=0$ В)	единица оборудов.	1
Определение электрических характеристик кабеля (емкость) (2 кВ)	жила	3
Определение сопротивления изоляции жил кабеля	узел	3
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме (Метод возвратного напряжения - $U=1$ кВ)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме (Метод возвратного напряжения - $U=2$ кВ)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме (Метод измерения изотермического тока релаксации - $U=1$ кВ)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с одного конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с одного конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1,2 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1

Окончание таблицы А.1

Наименование работ	Единица измерения	Кол-во
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с одного конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1,4 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с другого конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с другого конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1,2 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме для каждой из трёх фаз с другого конца кабеля (Измерения частичных разрядов при значении испытательного напряжения $U=1,4 \cdot U_0$)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме (Рефлектометрия)	единица оборудов.	1
Организация и проведение испытаний оборудования на одном режиме (Тепловидение - максимальная нагрузка)	единица оборудов.	1
Проведение измерения распределения температуры по устройству в целом	кабель	1
Термография концевых и соединительных муфт, БКС, вертикальных участков КЛ, проходных изоляторов	устройство	12
Обработка результатов теплового контроля	единица оборудов.	1
Формирование термограммы	термогр.	2
Анализ результатов измерений теплового контроля	единица оборудов.	1
Составление заключения о техническом состоянии КЛ	документ	1
Составление и подписание актов о проведенных работах	компл. докум.	1
Обработка, анализ и экспертиза комплекта документации	компл. докум.	1
Заполнение и оформление паспорта технического состояния оборудования	лист формата А4	12
Составление и оформление электронной версии чертежа (схемы трассы КЛ)	лист формата А4	2
Ввод информации в базу данных	формуляр	10

**Приложение Б
(рекомендуемое)
Паспорт технического состояния кабельной линии**

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "Г А З П Р О М"

"Утверждаю"

Главный инженер
организации-исполнителя

_____ Ф. И.О.

" " _____ 200 г.

"Согласовано"

Главный энергетик
организации-заказчика

_____ Ф. И.О.

" " _____ 200 г.

**ПАСПОРТ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ**

ОБЪЕКТ:

**КОЛИЧЕСТВО КАБЕЛЕЙ В КЛ:
ТИП КАБЕЛЕЙ:**

Дата обследования:

Начальник отдела
организации-исполнителя

_____ Ф. И.О.

" " _____ 200 г.

Инженер
организации-заказчика

_____ Ф. И.О.

" " _____ 200 г.

Руководитель бригады

_____ Ф. И.О.

" " _____ 200 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ 1	Документальные сведения
ФОРМУЛЯР 1	Регистрация работ
ФОРМУЛЯР 2	Документация и средства контроля, использованные при проведении диагностического обследования
ФОРМУЛЯР 3 - 1	Паспортные данные кабеля №1
ФОРМУЛЯР 3 - 2	Паспортные данные кабеля №2
ФОРМУЛЯР 4	Эксплуатационные сведения
ЧАСТЬ 2	Результаты обследования
ФОРМУЛЯР 5	Визуально-оптический контроль
ФОРМУЛЯР 6	Тепловой контроль
ФОРМУЛЯР 7 - 1	Измерение электрических характеристик кабеля №1
ФОРМУЛЯР 7 - 2	Измерение электрических характеристик кабеля №2
ФОРМУЛЯР 8	Измерение сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта
ФОРМУЛЯР 9 - 1	Метод импульсной рефлексометрии (кабель №1)
ФОРМУЛЯР 9 - 2	Метод импульсной рефлексометрии (кабель №2)
ФОРМУЛЯР 10 - 1	Метод измерения возвратного напряжения (кабель №1)
ФОРМУЛЯР 10 - 2	Метод измерения возвратного напряжения (кабель №2)
ФОРМУЛЯР 11 - 1	Метод диэлектрической спектроскопии (кабель №1)
ФОРМУЛЯР 11 - 2	Метод диэлектрической спектроскопии (кабель №2)
ФОРМУЛЯР 12 - 1	Метод измерения частичных разрядов (кабель №1)
ФОРМУЛЯР 12 - 2	Метод измерения частичных разрядов (кабель №2)
ФОРМУЛЯР 13	Схема трассы
ФОРМУЛЯР 14	Выводы и рекомендации

ОБЪЕКТ			
ФОРМУЛЯР 1		Регистрация работ	
ВИД РАБОТ	Диагностическое обследование кабельных линий среднего напряжения		
ДАТА НАЧАЛА ДАТА ОКОНЧАНИЯ			
СОСТАВ БРИГАДЫ СПЕЦИАЛИСТОВ	Фамилия	Должность	
	И.О.		
	Ф. И.О.	руководитель бригады	
	Ф. И.О.	член бригады	
	Ф. И.О.	член бригады	
ОРГАНИЗАЦИЯ	ОРГАНИЗАЦИЯ-ИСПОЛНИТЕЛЬ		
РАЗРЕШЕНИЕ	Лицензия № Выдана: Дата выдачи: Действительна до:		
СУБПОДРЯДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ			
РАЗРЕШЕНИЕ СУБПОДРЯДНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ			
ПОДПИСИ ЧЛЕНОВ БРИГАДЫ	_____	Ф. И.О.	
	_____	Ф. И.О.	
	_____	Ф. И.О.	
Список сертифицированных членов бригады.			
№ п/п	Фамилия И.О.	№ квалификационного удостоверения	Виды контроля, уровень
1	Ф. И.О.		
2	Ф. И.О.		

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 2	Документация и средства контроля, использованные при проведении диагностического обследования
-------------------	--

Вид документации	Отметка об использовании
Документация изготовителя	
Чертеж кабельной линии	
Проект кабельной линии	
Кабельный журнал	
Схема электроснабжения объекта	
Протоколы штатных измерений и испытаний	

Перечень приборов.

№ п/п	Тип и заводской номер прибора	Свидетельство о поверке	Дата следующей поверки
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 3 - 1

Паспортные данные кабеля №1

Регистрационные данные кабеля

Тип	
Марка	
Завод – изготовитель	
ГОСТ	
ТУ	
Год изготовления	

Технические характеристики

Срок службы, лет			
Номинальное напряжение, кВ			
Тип изоляции	Основная	Оболочки	Покрова

Режим	Номин.	Перегрузки	Аварийный		
Ток, А					
Температура, °С					
Допустимая продолжительность работы в режиме перегрузки, ч.					
Длина кабеля, м					
Количество жил, шт.					
Сечение жил, мм ²	А	В	С	N	РЕ

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 3 - 2

Паспортные данные кабеля №2

Регистрационные данные кабеля

Тип	
Марка	
Завод – изготовитель	
ГОСТ	
ТУ	
Год изготовления	

Технические характеристики

Срок службы, лет			
Номинальное напряжение, кВ			
Тип изоляции	Основная	Оболочки	Покрова

Режим	Номин.	Перегрузки	Аварийный		
Ток, А					
Температура, °С					
Допустимая продолжительность работы в режиме перегрузки, ч.					
Длина кабеля, м					
Количество жил, шт.					
Сечение жил, мм ²	А	В	С	Н	РЕ

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 4

Эксплуатационные сведения

1	№			
2	Принадлежность			
2	Наименование потребителя			
3	Наименование источника питания			
4	Количество параллельных кабелей в КЛ			
5	Дата ввода в эксплуатацию			
6	Ток подключенной к кабельной линии нагрузки, А	Рабочий	Перегрузки (по защите авт.)	Аварийный (по защите авт.)
7	Основные факторы деградации	температура, влажность		
8	Максимальная температура окружающей среды в местах прокладки, °С			
9	Длина кабельной линии, м (длина самого короткого кабеля – длина самого длинного кабеля в КЛ)			
10	Условия прокладки			
11	Количество соединительных муфт, шт. отдельно на каждом кабеле, входящем в состав КЛ			

Сведения о проводившихся испытаниях

№	Дата испытания	Сопротивление изоляции при 5 мин, Мом			Напряжение, кВ	Температура, °С	Ток утечки, мкА
		А	В	С			
1							
2							

Сведения о ремонтах

№	Дата ремонта	Причина ремонта	Описание работы
1			
2			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 5

Визуально-оптический контроль

№	Объект	Дефект	Возможная причина
1			
2			
3			
4			

Фотографии

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 6

Тепловой контроль

1. Контроль нагрева контактных соединений фаз.

Сторона КЛ	кабель №	Температура, °С				I, А		Тип дефекта		
		А	В	С	Среды	Рабо- чий	Номи- наль- ный	По избы- точной темпер.	По допус- тимому нагреву	По допус- тимому превы- шению Т нагрева
Потреб- ления	1									
	2									
Питания	1									
	2									

2. Контроль нагрева участков с повышенной температурой с расчетом степени дефектности*. Контроль степени осушения вертикальных участков**

№	Идентификация участка	Температура в дефектной области, °С	Температура в метре от дефектной области с поправкой на неравномерность температуры среды, °С
1			
2			

**Коэффициент дефектности - отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.*

Коэффициент дефектности	Тип дефекта
Не более 1,2	Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем.
1,2-1,5	Развившийся дефект. Принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы.
Более 1,5	Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

***При токе близком к номинальному перепад температуры должен составлять не более 2 - 3 градусов.*

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 6	Тепловой контроль
-------------------	--------------------------

Термограммы и фотографии

Место дефекта:

--	--

Температура дефектной области, °С	
Температура аналогичной области, °С	
Температура среды, °С	
Ираб. / Ином., %	

Место дефекта:

--	--

Температура дефектной области, °С	
Температура аналогичной области, °С	
Температура среды, °С	
Ираб. / Ином., %	

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 7 - 1

Измерение электрических характеристик кабеля №1

Измеряемый параметр	Фаза		
	А	В	С
Сопротивление изоляции кабеля при 1 минуте и напряжении 2500 В, МОм			
Сопротивление изоляции кабеля при 10 минутах и напряжении 2500 В (пересчет на длину 1 км), МОм			
Коэффициент поляризации (PI)			
Электрическая рабочая емкость кабеля, мкФ			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 7 - 2

Измерение электрических характеристик кабеля №2

Измеряемый параметр	Фаза		
	А	В	С
Сопротивление изоляции кабеля при 1 минуте и напряжении 2500 В, МОм			
Сопротивление изоляции кабеля при 10 минутах и напряжении 2500 В (пересчет на длину 1 км), МОм			
Коэффициент поляризации (PI)			
Электрическая рабочая емкость кабеля, мкФ			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 8	Измерение сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта
-------------------	--

Идентификация заземляющего устройства	Сопротивление заземления, Ом	Удельное сопротивление грунта, ρ, Ом·м
Проводник заземления кабеля со стороны источника		
Проводник заземления кабеля со стороны потребителя		

Переходное сопротивление болтового соединения заземляющего проводника, Ом

Со стороны источника	Со стороны портала

Электроустановки 3-35 кВ сетей с изолированной нейтралью	250/Ip*, но не более 10 Ом	до 500
	0,002 ρ ·250/Ip*	более 500

*Ip-расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается:
в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю - ток замыкания на землю;
в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю - ток замыкания на землю;

для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты, - ток, равный 125% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, - ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 9 – 1

Метод импульсной рефлектометрии (кабель №1)

Рефлектограмма кабеля (жила – жила) со стороны питания

Анализ рефлектограммы

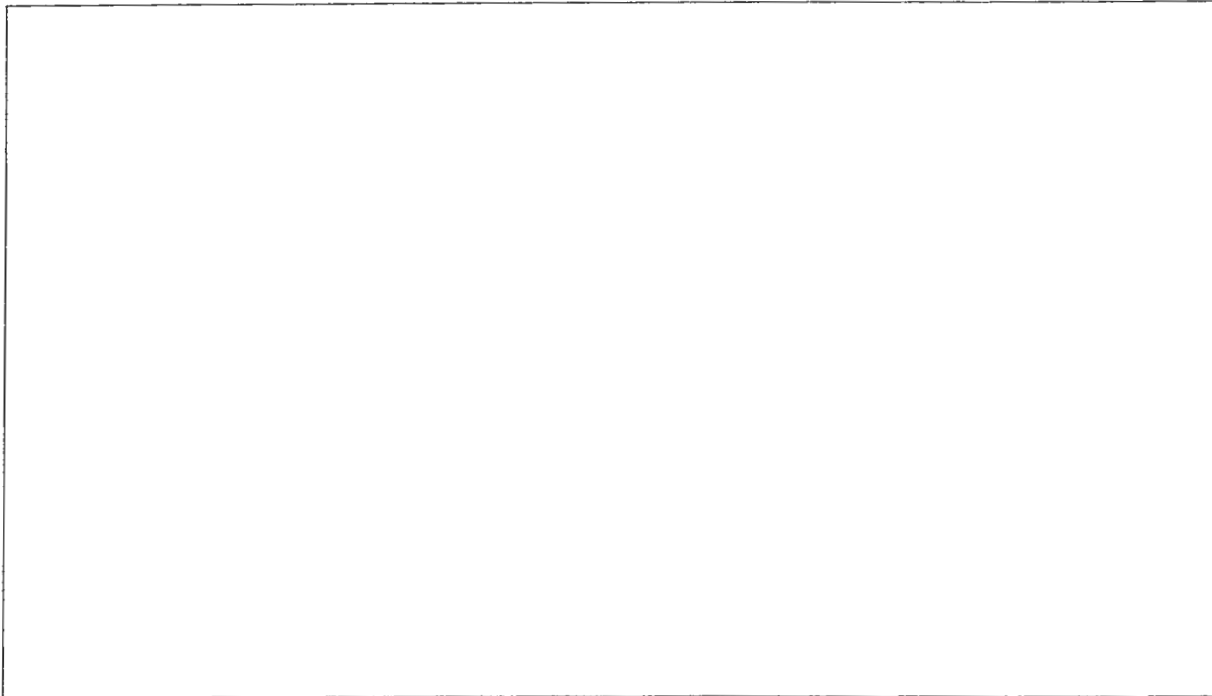
№ п/п	Участок длины, м	Описание
1		
2		

Вывод по результатам рефлектометрии:

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 9 – 2

Метод импульсной рефлектометрии (кабель №2)



Рефлектограмма кабеля (жила – жила) со стороны питания

Анализ рефлектограммы

№ п/п	Участок длины, м	Описание
1		
2		

Вывод по результатам рефлектометрии:

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 10 - 1

Метод измерения возвратного напряжения (кабель №1)

Параметры циклов измерений

Цикл	Время зарядки, мин	Время разрядки, сек	Время измерений, мин	Зарядное напряжение, кВ
1	30	2	30	1
2	30	2	30	2

Анализ кривых возвратного напряжения

Параметры кривых возвратного напряжения	Измеренное значение по фазам			Предельное значение	Характерное значение
	А	В	С		
Отношение производных, γ					
Максимум при зарядке 1 кВ, В					
Максимум при зарядке 2 кВ, В					
Время максимума при зарядке 1 кВ, сек					
Время максимума при зарядке 2 кВ, сек					
Кривые циклов пересекаются					
Отношение возвратных напряжений, $k(t)$					
Кривые сильно отличаются для разных жил в одном цикле измерений					

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 10 - 1	Метод измерения возвратного напряжения (кабель №1)
------------------------	--

Кривые возвратного напряжения

Отношение возвратных напряжений

Зарядный ток при зарядном напряжении
1 кВЗарядный ток при зарядном напряжении
2 кВ**Оценка состояния по результатам диагностики методом возвратного
напряжения:**

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 10 - 2**Метод измерения возвратного напряжения (кабель №2)****Параметры циклов измерений**

Цикл	Время зарядки, мин	Время разрядки, сек	Время измере- ний, мин	Зарядное напряжение, кВ
1	30	2	30	1
2	30	2	30	2

Анализ кривых возвратного напряжения

Параметры кривых возвратного напряжения	Измеренное значение по фазам			Предельное значение	Характерное значение
	А	В	С		
Отношение производных, γ					
Максимум при зарядке 1 кВ, В					
Максимум при зарядке 2 кВ, В					
Время максимума при зарядке 1 кВ, сек					
Время максимума при зарядке 2 кВ, сек					
Кривые циклов пересекаются					
Отношение возвратных напряжений, $k(t)$					
Кривые сильно отличаются для разных жил в одном цикле измерений					

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 10 - 2	Метод измерения возвратного напряжения (кабель №2)
-----------------	---

Кривые возвратного напряжения

Отношение возвратных напряжений

Зарядный ток при зарядном напряжении
1 кВЗарядный ток при зарядном напряжении
2 кВ**Оценка состояния по результатам диагностики методом возвратного напряжения:**

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 11 - 1

Метод диэлектрической спектроскопии (кабель №1)

График зависимости тангенса угла потерь $\text{tg } \delta$ от частоты**Результаты измерения**

	фаза А	фаза В	фаза С
Минимум $\text{tg } \delta$ в диапазоне частот от 0,01 Гц до 1000 Гц			
Содержание влаги, %			
Оценка состояния изоляции			

Нормативные значения

минимальное значение $\text{tg } \delta$	влажность изоляции, %	состояние изоляции
0,002 – 0,0035	менее	сухая / хорошее
0,0035 – 0,005	1 – 2,5	умеренно влажная / средняя степень старения
0,005 – 0,01	2,5 – 3,5	значительно увлажнена / высокая степень старения
более 0,01	более 3,5 или есть локальный дефект	очень высокая влажность или есть локальный дефект / неудовлетворительное состояние

Оценка состояния по результатам измерения: состояние кабеля хорошее.

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 11 - 2

Метод диэлектрической спектроскопии (кабель №2)

График зависимости тангенса угла потерь $\text{tg } \delta$ от частоты

Результаты измерения

	фаза А	фаза В	фаза С
Минимум $\text{tg } \delta$ в диапазоне частот от 0,01 Гц до 1000 Гц			
Содержание влаги, %			
Оценка состояния изоляции			

Нормативные значения

минимальное значение $\text{tg } \delta$	влажность изоляции, %	состояние изоляции
0,002 – 0,0035	менее	сухая / хорошее
0,0035 – 0,005	1 – 2,5	умеренно влажная / средняя степень старения
0,005 – 0,01	2,5 – 3,5	значительно увлажнена / высокая степень старения
более 0,01	более 3,5 или есть локальный дефект	очень высокая влажность или есть локальный дефект / неудовлетворительное состояние

Оценка состояния по результатам измерения: состояние кабеля хорошее.

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 12 - 1

Метод измерения частичных разрядов(кабель №1)

Результаты диагностики

Нормируемые параметры	Фаза A(L1)	Фаза B(L2)	Фаза C(L3)	Предельное значение			
				Тести- рование через 5 лет	Тести- рование в течение 1 года	Область риска (ремонт в теч. 1 года с послед. диаг- ностикой)	Предельная область риска (по возможнос- ти ремонт или замена)
Напряжение возникновения ЧР U_m , кВ							
Макс.уровень ЧР при напряжении 14,5 кВ, пКл							
Среднее кол-во ЧР за один цикл измерения в локальном месте КЛ, приведенное к одной секунде шт/сек							

Ненормируемые параметры	Фаза A(L1)	Фаза B(L2)	Фаза C(L3)
Максимальный уровень ЧР при U_m , пКл			
Напряжение гашения ЧР, кВ			
$\text{tg } \delta$			
Скорость распространения импульса, м/мкс			
Количество циклов измерения			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 12 - 1

Метод измерения частичных разрядов (кабель №1)

Карта ЧР фаз А, В, С при напряжении 14,5 кВ

Гистограмма ЧР фаз А, В, С при напряжении 14,5 кВ

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 12 - 2

Метод измерения частичных разрядов(кабель №2)

Результаты диагностики

Нормируемые параметры	Фаза А(L1)	Фаза В(L2)	Фаза С(L3)	Предельное значение			
				Тести- рование через 5 лет	Тести- рование в течение 1 года	Область риска (ремонт в теч. 1 года с послед. диаг- ностикой)	Предельная область риска (по возможнос- ти ремонт или замена)
Напряжение возникновения ЧР U_m , кВ							
Макс.уровень ЧР при напряжении 14,5 кВ, пКл							
Среднее кол-во ЧР за один цикл измерения в локальном месте КЛ, приведенное к одной секунде шт/сек							

Ненормируемые параметры	Фаза А(L1)	Фаза В(L2)	Фаза С(L3)
Максимальный уровень ЧР при U_m , пКл			
Напряжение гашения ЧР, кВ			
$tg \delta$			
Скорость распространения импульса, м/мкс			
Количество циклов измерения			

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 12 - 2

Метод измерения частичных разрядов (кабель №2)

Карта ЧР фаз А, В, С при напряжении 14,5 кВ

Гистограмма ЧР фаз А, В, С при напряжении 14,5 кВ

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 13	План трассы
--------------------	--------------------

ОБЪЕКТ:

ФОРМУЛЯР 14

Выводы и рекомендации

Выводы

Работоспособность	Состояние	Провести следующее диагностическое обследование	Срок продления эксплуатации

Рекомендации

№	Рекомендации по технической эксплуатации	Рекомендации по проведению ремонта	Рекомендации по проведению высоковольтных испытаний
1			
2			
3			

Приложение В (рекомендуемое)

Предварительное заключение по результатам обследования кабельной линии

дата	объект
------	--------

Обследование выполнялось с _____ по _____ специалистами
(название организации) по договору № _____ от _____
и включало в себя:

- сбор паспортных данных обследуемой кабельной линии;
- сбор эксплуатационных сведений обследуемой кабельной линии;
- визуально-оптическое обследование кабельной линии и всех присоединений;
- тепловое обследование кабельной линии и всех присоединений;
- измерение электрических характеристик кабелей;
- измерение сопротивления заземления и удельного сопротивления грунта;
- рефлектометрию кабельной линии;
- измерение физических характеристик изоляции кабелей;
- уточнение трассы кабельной линии;
- разработку предварительных рекомендаций по ремонту и эксплуатации.

Результаты обследования:

1	Визуально-оптическое обследование	
2	Тепловое обследование	
3	Электрические характеристики	
4	Сопротивления заземления, Ом	
5	Удельное сопротивления грунта, Ом/м	
6	Рефлектометрия	
7	Физические характеристики изоляции	

Рекомендации по ремонту и эксплуатации:

1	
2	

Руководитель бригады
член бригады
член бригады

Ф. И. О.
Ф. И. О.
Ф. И. О.

Приложение Г (рекомендуемое)

Определение удельного сопротивления грунта

Г.1 Проведение измерений

Г.1.1 При измерении удельного сопротивления грунта по четырехполюсной схеме измерений сопротивления заземления в измерительный прибор вводится взаимное расстояние между измерительными электродами. Результат измерения – величина удельного сопротивления грунта. Расположение и подключение электродов указано на рисунке Г.1.

Г.1.2 Удельное сопротивление грунта ρ рекомендуется рассчитывать по формуле

$$\rho = 2\pi d R_E, \quad (\text{Г.1})$$

где d – расстояние между электродами, м;

R_E – измеренное сопротивление заземления токового электрода T_2 , Ом.

Формула (Г.1) применяется для вычисления величины удельного сопротивления грунта ρ , если измерительный прибор позволяет получить только значение сопротивления заземления по четырехполюсной схеме измерения. Расположение и подключение электродов указано на рисунке Г.1.

Г.1.3 Возможно проведение измерения удельного сопротивления грунта с использованием трех электродов по схеме приведенной на рисунке Г.2. Удельное сопротивление грунта определяется как произведение измеренного сопротивления заземления пробного электрода на коэффициент 0,6.

2006

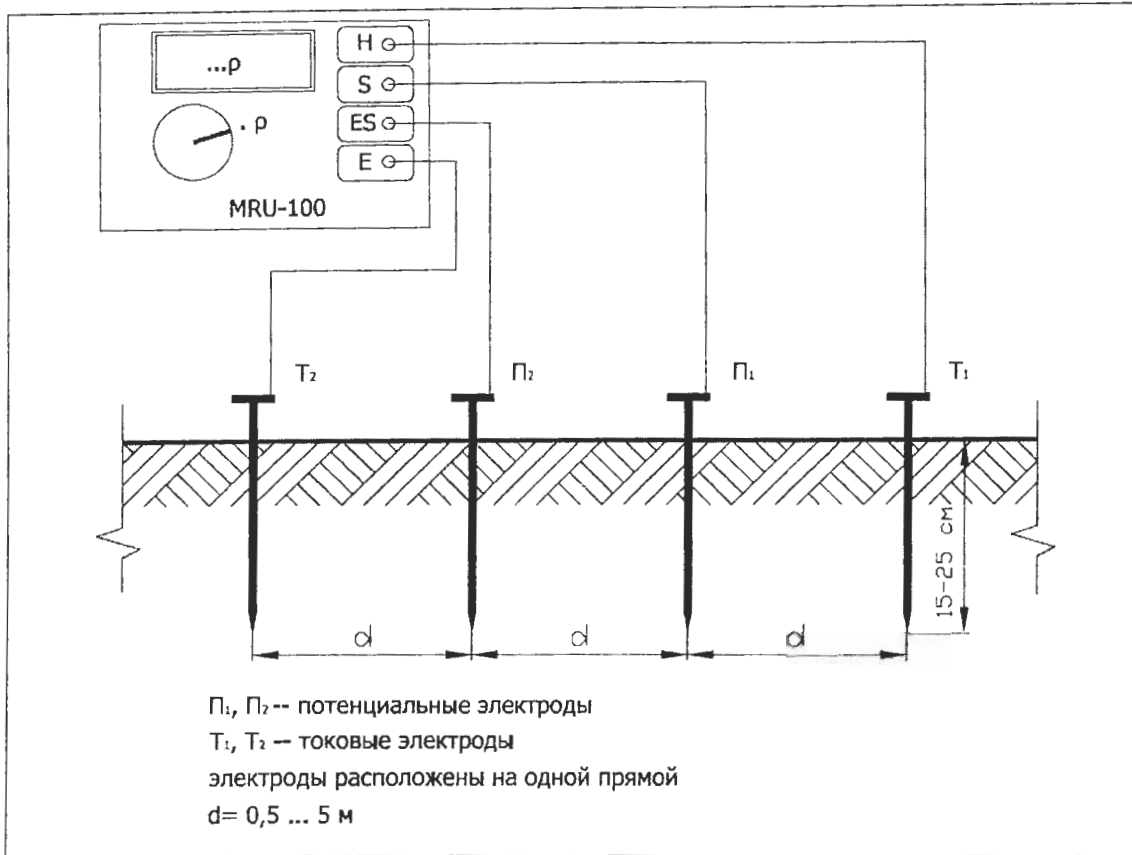


Рисунок Г.1

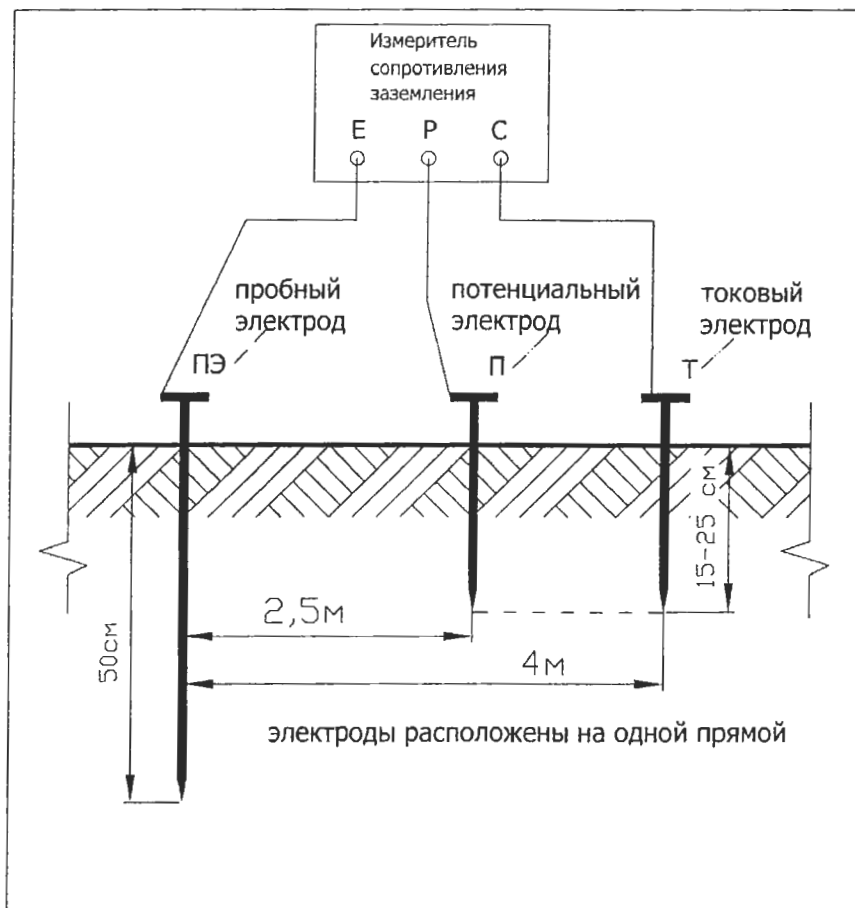


Рисунок Г.2

Г.2 Величина ошибки при измерениях

Г.2.1 Если сопротивление контакта измерительных электродов с грунтом неадекватно высокое, измеренное сопротивление заземления будет иметь дополнительную ошибку. Величина ошибки измерения в этом случае обратно пропорциональна величине сопротивления заземления. Такая ситуация наблюдается тогда, когда верхний уровень грунта сухой и имеет плохую проводимость. При этом условии отношение сопротивления заземления измерительных электродов к сопротивлению заземления исследуемого заземлителя велико.

Г.2.2 Контакт измерительных электродов с грунтом может быть улучшен, например, увлажнением водой мест, в которых установлены электроды.

Г.2.3 Погрешность, вызванную наличием активного сопротивления контакта измерительных зондов и грунта, рекомендуется определять по формуле:

$$\delta_{доп} = \frac{R_H \cdot (R_S + 30000)}{R_E} \cdot 3,2 \cdot 10^{-7}, \% \quad (Г.2)$$

где R_H, R_S, R_E – величины сопротивлений между грунтом и измерительными электродами, Ом,

$3,2 \cdot 10^{-7}$ – коэффициент, 1/Ом.

Полная погрешность выражается формулой:

$$\delta_{полная} = \delta_{основн} + \delta_{доп} \quad (Г.3)$$

Г.3 Коррозионная активность грунта

Таблица Г.1 Степень коррозионной активности грунта по отношению к металлическим оболочкам кабелей

Величина удельного сопротивления грунта, Ом·м	Более 100	100-20	20-10	10-5	Менее 5
Коррозионная активность	Низкая	Средняя	Повышенная	Высокая	Весьма высокая

Приложение Д
(рекомендуемое)
Справочные значения величины сопротивления заземления

Таблица Д.1

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
Электроустановки напряжением выше 1 кВ ⁽¹⁾ , кроме ВЛ	Электроустановка сети с эффективно заземленной нейтралью	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	0,5
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства только для установки напряжением выше 1 кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	$250/I^{(2)}$, но не более 10 Ом
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства для электроустановки напряжением до 1 кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	$250/I^{(2)}$, при этом должны быть выполнены требования к заземлению установки напряжением до 1 кВ
Электроустановки напряжением выше 1 кВ ⁽¹⁾ , кроме ВЛ	Подстанция с высшим напряжением 20-35 кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале	Заземлитель подстанции	4 Ом, без учета заземлителей, расположенных вне контура
	Отдельно стоящий молниеотвод	Обособленный заземлитель заземления ОРУ	80

2006

(1) Для электроустановок напряжением выше 1 кВ при удельном сопротивлении грунта ρ более 500 Ом·м допускается увеличение сопротивления в $0,002 \rho$ раз, но не более десятикратного.

(2) I – расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока принимается:

- в сетях без компенсации емкостного тока – ток замыкания на землю;

- в сетях с компенсацией емкостного тока:

а) для заземляющих устройств, к которым присоединены дугогасящие реакторы, ток, равный 125% номинального тока этих реакторов;

б) для заземляющих устройств, к которым не присоединены дугогасящие реакторы, ток замыкания на землю, проходящий в сети при отключении наиболее мощного из дугогасящих реакторов или наиболее разветвленного участка сети.

Приложение Е (рекомендуемое) Измерение сопротивления заземления

Е.1 Проведение измерений

Е.1.1 Сопротивление измеряется по методу амперметра-вольтметра. Принципиальная схема измерений приведена на рисунке Е.1. Токовый и потенциальный электроды рекомендуется располагать на одной линии по территории свободной от линий электропередачи и подземных коммуникаций. Расстояния до токового и потенциального электродов выбираются в зависимости от размеров ЗУ и характерных особенностей территории.

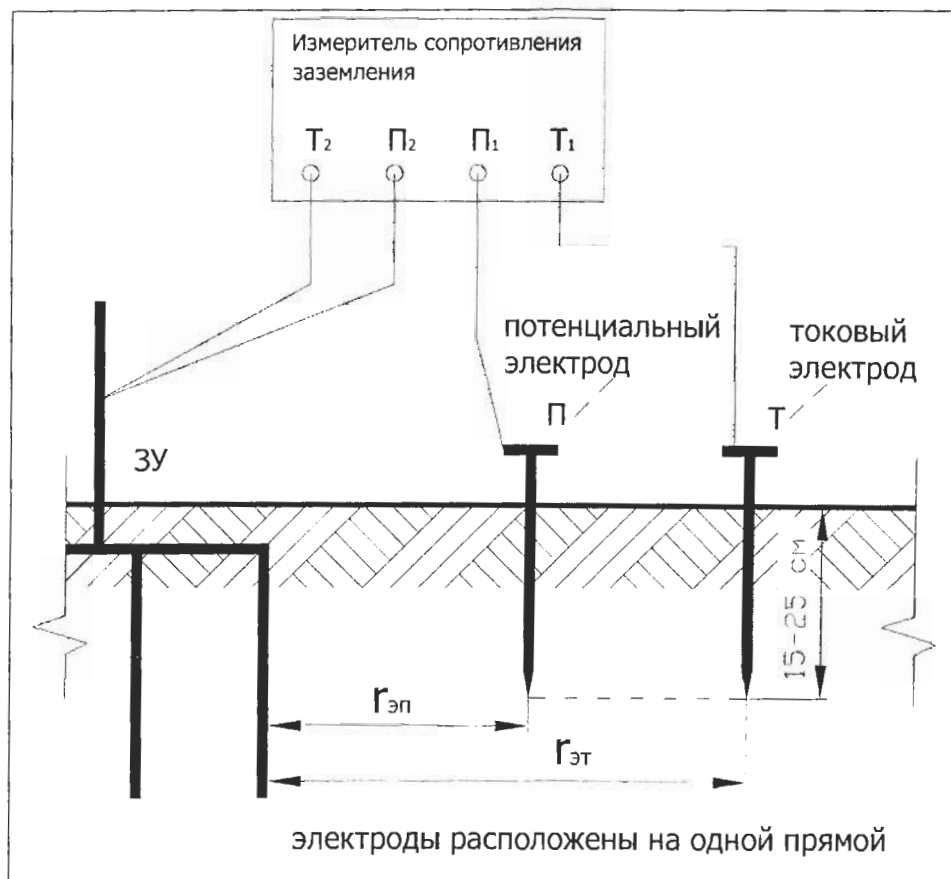


Рисунок Е.1

Е.1.2 Если заземлитель имеет размеры диагонали менее 15 метров, а вокруг него имеется обширная площадь свободная от линий электропередачи и подземных коммуникаций, то расстояния до электродов (токовых и

2006

потенциальных) выбираются следующим образом: $r_{\text{эт}} \geq 5 D$; $r_{\text{эп}} = 0,5 \cdot r_{\text{эт}}$.

Здесь D – наибольший линейный размер ЗУ, характерный для данного типа заземлителя: для заземлителя в виде многоугольника – диагональ ЗУ; для глубинного заземлителя – длина глубинного электрода; для лучевого заземлителя – длина луча.

Е.1.3 Если заземлитель имеет размеры диагонали более 15 метров, но вокруг него нет обширной площади свободной от линий электропередачи и подземных коммуникаций, токовый электрод размещается на расстоянии $r_{\text{эт}} \geq 3 D$. Потенциальный электрод размещается последовательно на расстоянии $r_{\text{эп}}$, равном $0,1 r_{\text{эт}}$; $0,2 r_{\text{эт}}$; $0,3 r_{\text{эт}}$; $0,4 r_{\text{эт}}$; $0,5 r_{\text{эт}}$; $0,6 r_{\text{эт}}$; $0,7 r_{\text{эт}}$; $0,8 r_{\text{эт}}$; $0,9 r_{\text{эт}}$, и производится измерение значений сопротивления.

Е.1.4 Далее строится кривая зависимости значения сопротивления от расстояния $r_{\text{эп}}$. Если кривая монотонно возрастает и имеет в средней части горизонтальный участок, как изображено на рисунке Е.2, за истинное значение сопротивления принимается значение при $r_{\text{эп}} = 0,5 r_{\text{эт}}$. Если кривая немонотонная, что является следствием влияния различных коммуникаций (подземных и надземных), измерения повторяются при расположении электродов в другом направлении от ЗУ.

Е.1.5 Если кривая сопротивления плавно возрастает, но не имеет горизонтального участка (разница сопротивлений, измеренных при $r_{\text{эп}} = 0,4 r_{\text{эт}}$ и $r_{\text{эп}} = 0,6 r_{\text{эт}}$, превышает более чем на 10% значение, измеренное при $r_{\text{эп}} = 0,5 r_{\text{эт}}$), и отсутствует возможность перемещения токового электрода на большее расстояние, возможен следующий выход. Проводятся две серии измерений при $r_{\text{эт}} = 2 D$ и $r_{\text{эт}} = 3 D$. Кривые наносятся на один график. Точка пересечения кривых принимается за истинное значение сопротивления заземлителя.

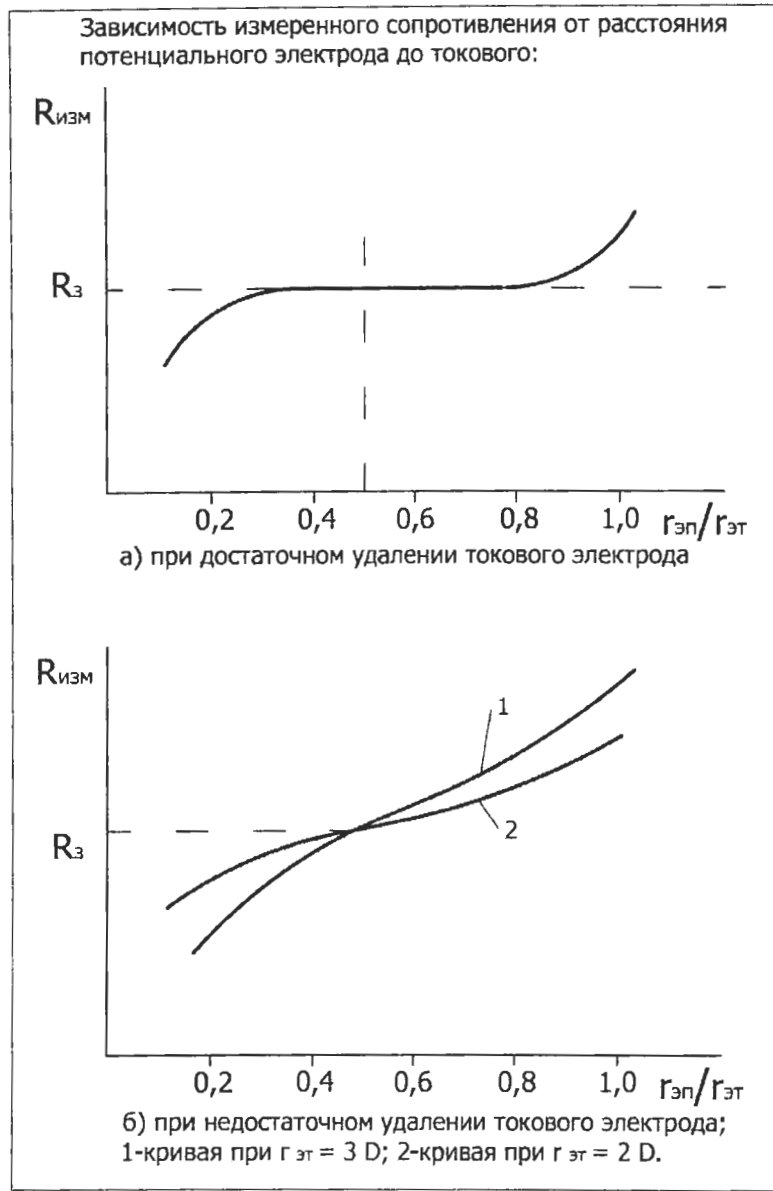


Рисунок Е.2

Оптимальное положение потенциально электрода – 62% от расстояния между токовым электродом и исследуемым заземлителем.

Е.1.7 Измерение сопротивления ЗУ с использованием многофункциональных токовых клещей.

Для измерения сопротивления ЗУ можно использовать многофункциональные токовые клещи, предназначенные для измерения сопротивления заземления и тока утечки. Приборы позволяют производить измерения только на одном проводе заземления без использования дополнительных электродов и могут применяться для тестирования систем с множественным заземлением без их отключения. Измерения проводят, как

2006

показано на рисунке Е.3, при этом тестируемый проводник должен быть отцентрирован.

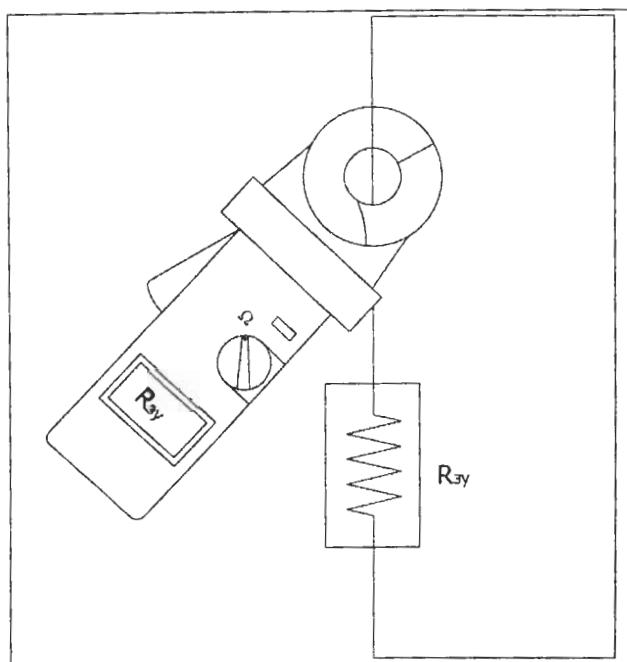


Рисунок Е.3

Е.2 Погрешность измерений

Е.2.1 Для уменьшения погрешности особое внимание должно быть уделено качеству соединения исследуемого заземлителя с измерительными проводниками. Место контакта рекомендуется очистить от краски, ржавчины и т. п. Если сопротивление контакта измерительных электродов с грунтом неадекватно высокое, измеренное сопротивление заземления будет иметь дополнительную погрешность. Величина погрешности измерения в этом случае обратно пропорциональна величине сопротивления заземления. Такая ситуация наблюдается тогда, когда верхний уровень грунта сухой и имеет плохую проводимость. При этом условии отношение сопротивления заземления измерительных электродов к сопротивлению заземления исследуемого заземлителя велико.

Е.2.2 Контакт измерительных электродов с грунтом может быть улучшен, например, увлажнением водой мест, в которых установлены электроды.

2006

Дополнительно принимается во внимание погрешность, вызванная наличием активного сопротивления контакта измерительных зондов и грунта, определяемая как в разделе Г.2.3.

Приложение Ж
(рекомендуемое)

Дефекты и ремонт заземляющих устройств, проводников и их соединений

Таблица Ж.1

Объект	Характеристика дефекта	Критерий	Состояние	Состав ремонтно-восстановительных работ
Устройство заземления концевой муфты или заделки кабеля	повышенное сопротивление заземления	больше максимально-допустимого значения указанного в таблице Д.1	неисправное	ремонт соединений элементов ЗУ или увеличение размеров ЗУ
БКС	ненадежное БКС	недостаточная степень затяжки болтового соединения	неисправное	протяжка
		отсутствие шайбы, контргайки	неисправное	установка шайбы, контргайки
	повышенное сопротивление БКС	более 0,05 Ом	неисправное	зачистка контактных плоскостей, протяжка

Приложение И (рекомендуемое)

Измерение сопротивления изоляции жил кабеля

И.1 Измерение производится мегомметром при постоянном напряжении 2500 В. При приложении к образцу постоянного напряжения ток равен сумме емкостного зарядного тока, тока абсорбции и тока утечки. Кривые зависимостей этих токов от времени изображены на рисунке И.1.

И.2 Емкостной зарядный ток и ток абсорбции в первый момент приложения напряжения относительно высоки. По мере заряда емкости кабеля и изменения поляризации диэлектрика эти токи снижаются и в итоге падают до нуля, тогда как, величина тока утечки остается постоянной.

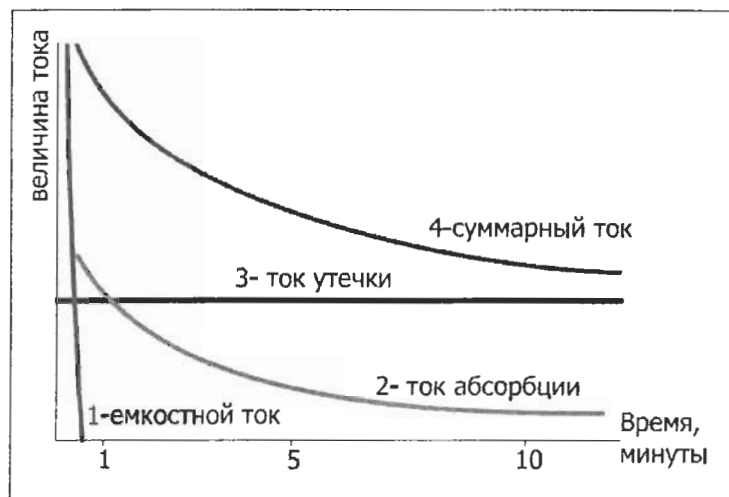


Рисунок И.1

И.3 Ток утечки в кабеле, имеющем изоляцию в хорошем состоянии, меньше тока заряда емкости кабеля и тока абсорбции. При измерении сопротивления изоляции такого кабеля измеряемое сопротивление как функция времени измерения увеличивается на промежутке от нуля до 10-15 минут, а затем стабилизируется. Если же изоляция кабеля находится в плохом состоянии, то величина тока утечки значительно превышает как величину тока заряда емкости кабеля, так и величину тока абсорбции. В этом случае, при измерении

2006

сопротивления изоляции мегомметром наблюдается относительная стабильность значений измеряемой величины сопротивления на всем промежутке времени измерения.

И.4 Для принятия решения о состоянии изоляции кабеля рекомендуется использование величины отношения измеренных сопротивлений в моменты времени через 10 минут и через 1 минуту после приложения напряжения 2500 В.

И.5 Отношение сопротивления изоляции кабеля, измеренного через десять минут, к сопротивлению, измеренному через минуту после приложения напряжения, называемое индексом поляризации (PI), не зависит от температуры окружающей среды. На рисунке И.2 изображены кривые измеренных сопротивлений изоляции для кабелей, находящихся в различном состоянии. В соответствии с таблицей И.1 в зависимости от значения индекса поляризации оценивается качество изоляции кабеля.

Таблица И.1

$PI = R_{10 \text{ мин}} / R_{1 \text{ мин}}$	< 1	1...2	2...4	> 4
Состояние изоляции	Опасное	Неудовлетворительное	Хорошее	Отличное

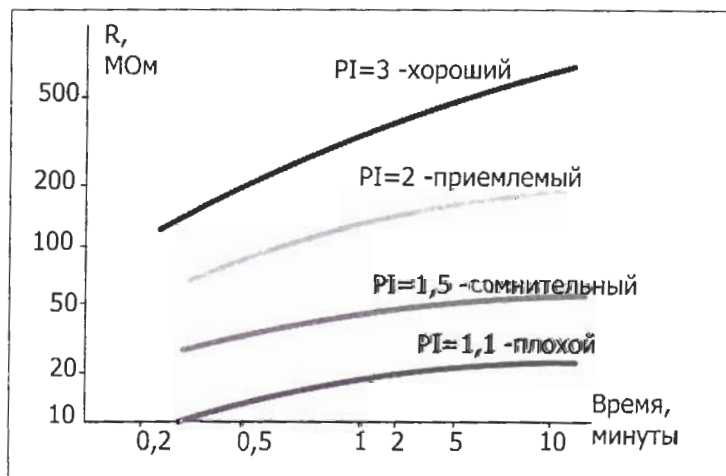


Рисунок И.2

И.6 При измерении сопротивления изоляции кабеля рекомендуется учитывать, что наибольшее влияние на величину токов утечки оказывают конструкция и состояние соединительных муфт, концевых муфт и заделок. Во многих случаях абсолютная величина токов утечки в муфтах или заделках

2006

значительно превышает величину тока утечки непосредственно в изоляции самого кабеля даже в том случае, если кабельная линия имеет длину в несколько километров. Поэтому, при значениях R_I меньше 2 и при обнаружении большой разницы в значениях сопротивлений изоляции отдельных фаз кабеля вероятно наличие дефекта в муфтах или заделках.

Приложение К (рекомендуемое)

Виды дефектов и их выявление в процессе импульсной рефлектометрии

К.1 Основные принципы импульсной рефлектометрии

К.1.1 Метод импульсной рефлектометрии, называемый также методом отраженных импульсов или локационным методом, базируется на зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения.

К.1.2 Помехи бывают асинхронные (аддитивные) и синхронные. Асинхронные помехи не связаны с зондирующим сигналом и неоднородностями КЛ и вызваны наводками от внешних источников помех. Синхронные помехи связаны с зондирующим сигналом и являются отражением зондирующего сигнала от неоднородностей волнового сопротивления линии. При измерениях одновременно присутствуют оба вида помех.

К.1.3 Отражения от одной и той же неоднородности могут иметь различные величины при измерении с разных концов линии. Если известно, к какому концу кабельной линии ближе расположено место повреждения, то для измерений нужно выбирать именно этот конец КЛ. В других случаях рекомендуется проводить измерения последовательно с двух концов КЛ.

К.1.5 Следует учитывать, что не всегда легко обнаружить на фоне помех даже такие повреждения как "короткое замыкание" и "обрыв", дающие максимальные отражения зондирующего сигнала. Например, при большом затухании и больших неоднородностях волнового сопротивления линии амплитуда отражения от удаленного повреждений типа "короткое замыкание" или "обрыв" зачастую бывает меньше, чем отражения от близко расположенных неоднородностей волнового сопротивления.

К.1.6 При использовании метода импульсной рефлектометрии в линию посылают зондирующий импульс и измеряют интервал времени T - время пробега этого импульса до места повреждения (неоднородности волнового

2006

сопротивления) и обратно. Расстояние до места повреждения рассчитывается по формуле

$$L = \frac{1}{2} \cdot T \cdot \frac{c}{g}, \quad (\text{К.1})$$

где c - скорость света в вакууме равная 299792458 м/с;

g – коэффициент укорочения.

К.1.7 Коэффициент укорочения показывает во сколько раз скорость распространения сигналов в линии v меньше скорости света в вакууме c и определяется по формуле

$$g = c/v \quad (\text{К.2})$$

Для практических целей на кабельных линиях можно считать, что коэффициент укорочения еще зависит от конструкции кабеля. Кабели одинаковые по диаметру жил, типу и толщине изоляции, но разные по количеству жил и повиву (шагу скрутки), могут иметь разные коэффициенты укорочения.

К.1.8 Если коэффициент укорочения кабеля неизвестен, то его можно измерить рефлектометром. Для измерения коэффициента укорочения нужно иметь кабель точно известной длины. На практике обычно берут имеющийся отрезок кабеля длиной 15-50 метров и измеряют его длину, например рулеткой. Затем к этому отрезку кабеля подключают рефлектометр, устанавливают измерительный курсор на начало отраженного сигнала, вводят в рефлектометр измеренную длину и получают коэффициент укорочения.

К.1.9 При отсутствии возможности провести измерения, описанные в пункте К.1.8, рекомендуется принять следующие значения коэффициента укорочения:

- $g=1,77$ для кабелей с полиэтиленовой изоляцией;
- $g=1,85$ для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.

При этом погрешность, вносимая значением коэффициента укорочения, составляет не более 1 %.

К.2 Проведение измерений

К.2.1 Рекомендуется использовать рефлектометры с усилением не менее 80 дБ.

К.2.2 Все измерения производятся на отключенной с обеих сторон линии. Перед подключением прибора КЛ предварительно разряжают, подключив жилы и экран на несколько секунд к заземляющему проводнику.

К.2.3 Подключение рефлектометра к тестируемой КЛ производится между жилой и оболочкой кабеля. Поочередно тестируются все жилы кабеля.

К.2.4 Для определения расстояний до неоднородностей КЛ и измерения длины кабеля в рефлектометр вводят значение коэффициента укорочения тестируемого кабеля.

К.2.5 Перед измерениями для устранения переотражений выполняют операцию согласования выходного сопротивления рефлектометра с волновым сопротивлением линии.

К.2.6 Для более точного измерения рекомендуется правильно, в соответствии с длиной и частотной характеристикой затухания линии, выбирать параметры зондирующего импульса рефлектометра. Критерием правильного выбора является минимальное "расплывание" и максимальная амплитуда отраженного сигнала.

К.2.7 Полученные в ходе тестирования рефлектограммы интерпретируются в соответствии с приведенными в разделе К.3 примерами определения характера повреждений (неоднородности) по виду рефлектограммы и полярности отраженного сигнала.

К.3 Основные типы рефлектограмм

2006

К.3.1 На рефлектограмме (рисунок К.1) представлен случай отражения сигнала от точки большого сопротивления (второй курсор), что соответствует обрыву кабеля.

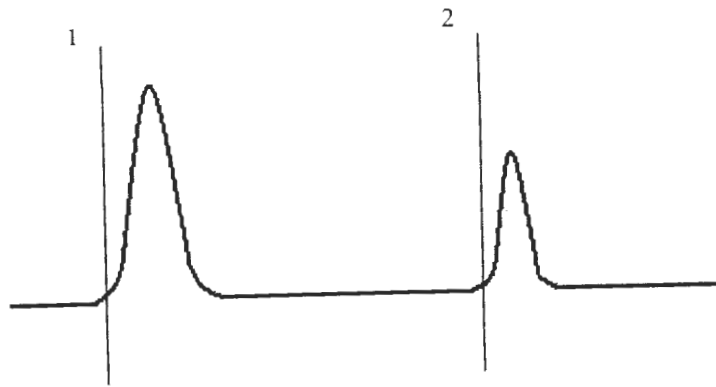


Рисунок К.1

К.3.2 Отражение со сменой полярности сигнала (рисунок К.2) соответствует короткому замыканию в кабеле, малому сопротивлению неоднородности.

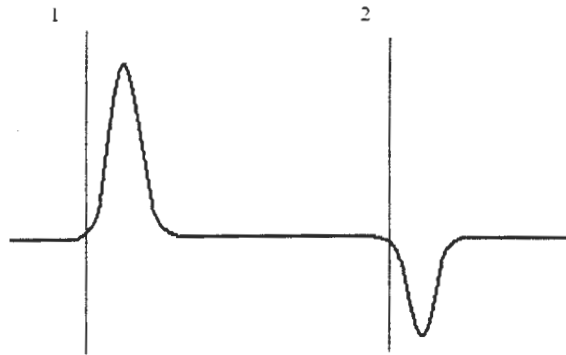


Рисунок К.2

К.3.3 На данной рефлектограмме (рисунок К.3) представлен вариант частичного обрыва (второй курсор), за которым следует полный обрыв.

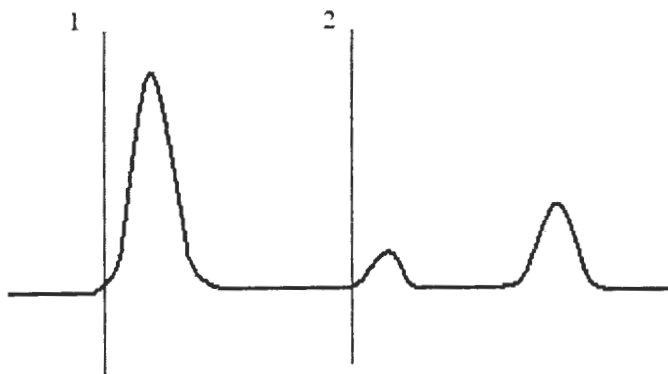


Рисунок К.3

2006

К.3.4 На рефлектограмме (рисунок К.4) представлен случай, когда за частичным замыканием, отмеченным вторым курсором, следует полный обрыв кабеля.

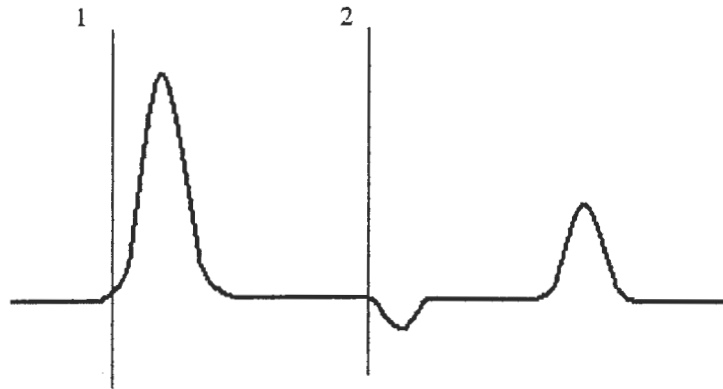


Рисунок К.4

К.3.5 На этой рефлектограмме (рисунок К.5) можно выделить сигнал, отраженный от места утечки.

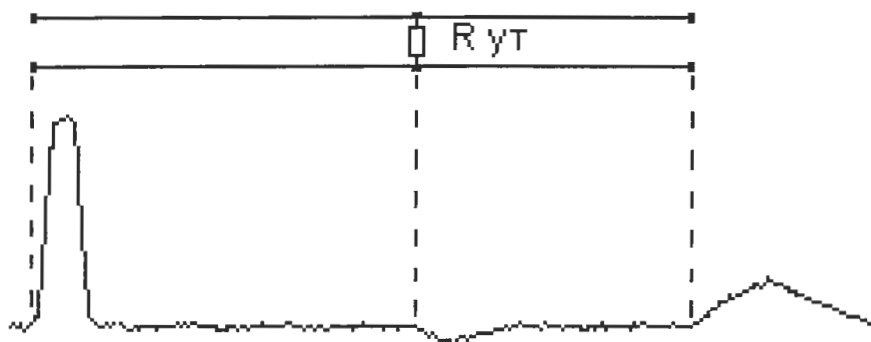


Рисунок К.5

К.3.6 Внесение дополнительного сопротивления или сварочный шов приводят к появлению S-образного отражения на рефлектограмме (рисунок К.6). Высокоомное отражение сопровождается низкоомным.

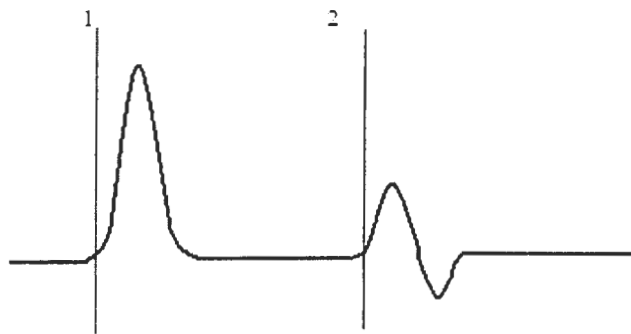


Рисунок К.6

К.3.7 При наличии соединительной муфты на рефлектограмме появляется участок, отмеченный вторым курсором (рисунок К.7).

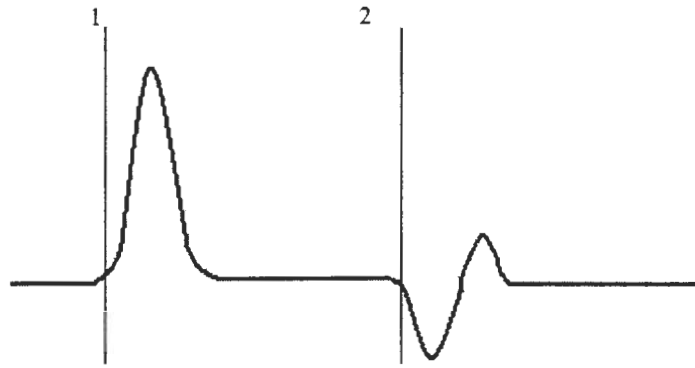


Рисунок К.7

К.3.8 Намокание кабеля отображается на рефлектограмме (рисунок К.8) как область случайного отражения. Начало этой области, показанное вторым курсором на рефлектограмме, соответствует началу области намокания кабеля.

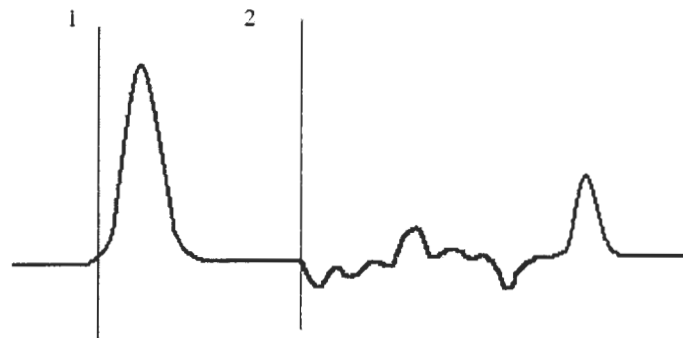


Рисунок К.8

К.3.9 Повышение влажности в кабелях приводит к появлению шумовой составляющей на рефлектограмме (рисунок К.9).

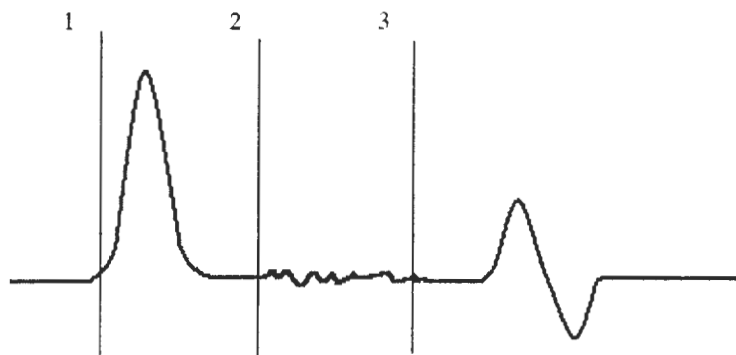


Рисунок К.9

2006

К.3.10 Шунтирующая емкость приводит к явно выраженному дифференцированию сигнала (рисунок К.10).

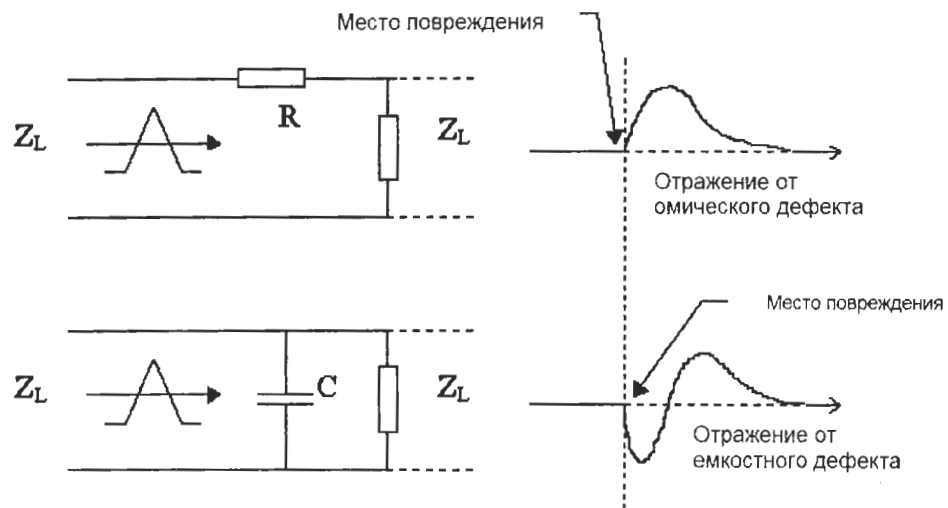


Рисунок К.10 – Различие между отражением от омической и емкостной неоднородности

Приложение Л (рекомендуемое)

Измерение возвратного напряжения установкой CDS

Л.1 Для определения технического состояния силовых кабелей с БПИ напряжением 6 кВ и 10 кВ с использованием установки CDS производства фирмы "Seba KMT" (Германия) проводится анализ формы кривой возвратного напряжения.

Величина возвратного напряжения определяется токами релаксации зарядовых состояний, образующихся на дефектах изоляции. Процедура проведения самих измерений описана в инструкции по эксплуатации установки CDS. Для кабелей с БПИ рекомендуется проведение не менее двух циклов измерений, отличающихся величиной зарядного напряжения.

За три часа до измерения рекомендуется отключить, отсоединить и заземлить жилы кабеля для обеспечения разрядки емкости кабеля и деполяризации изоляции. После проведения измерений кабель заземляется на время достаточное для его разрядки.

Л.2 Принципиальная схема измерения возвратного напряжения представлена на рисунке Л.1. Внешний вид установки CDS представлен на рисунке Л.2, основные технические характеристики установки – в таблице Л.1. Установка CDS позволяет проводить измерения одновременно на трех фазах КЛ.

Таблица Л.1 – Основные технические характеристики установки CDS

Диапазон измеряемого напряжения, В	0 - 5000
Максимальное выходное напряжение, кВ	5
Питание от сети, В; Гц	115 / 230; 50 / 60
Величина постоянного тока при зарядке, мА	3
Потребляемая мощность, Вт	50
Габариты (В x Ш x Г), мм	490 x 550 x 415
Вес, кг	26
Длина диагностируемой КЛ, км	до 12

2006

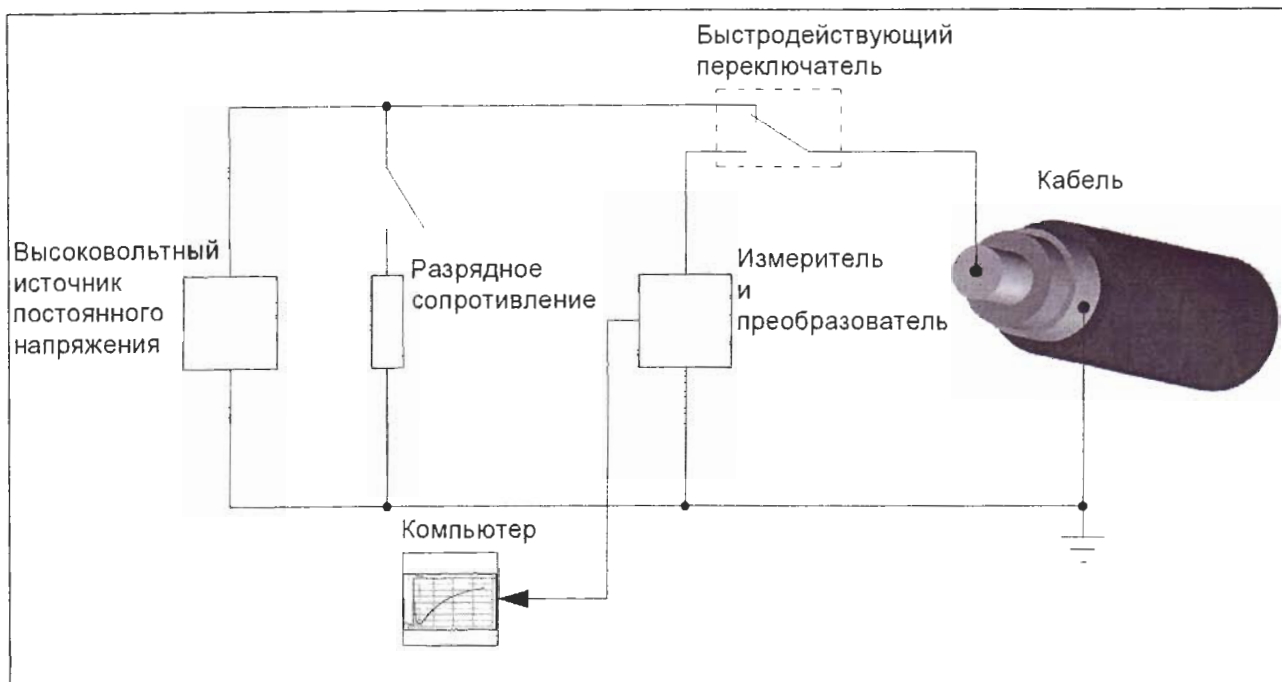


Рисунок Л.1 – Принципиальная схема измерения возвратного напряжения



Рисунок Л.2 – Внешний вид CDS

Для кабеля с БПИ проводят два цикла измерений. Первый цикл – при постоянном напряжении заряда 1 кВ, второй – при постоянном напряжении заряда 2 кВ. Цикл измерений включает в себя четыре этапа.

На первом этапе измеряется остаточное напряжение на предварительно отключенном кабеле (проведение нулевого измерения без подачи зарядного напряжения). Данное измерение проводится в течение двух минут. Наличие

2006

остаточного напряжения говорит о недостаточной разрядке кабеля (длительное время разрядки может являться следствием повреждения оболочки), присутствия паразитных сигналов, неполном отключении кабеля от оборудования.

На втором этапе производится зарядка кабеля в течение 30 минут при постоянном напряжении 1 кВ в первом цикле или 2 кВ во втором цикле измерений. Если зарядный ток превышает допустимый предел, то зарядка прекращается и выводится сообщение об ошибке. Допустимый предел для зарядного тока вычисляется автоматически в соответствии с зарядным напряжением и длиной кабеля. Его величина такова, что в неповрежденной изоляции этот предел никогда не достигается.

Причины превышения допустимого предела:

- кабель отключен от сети не полностью, и зарядный ток протекает через неотсоединенные элементы сети;
- если ток зарядки высок и относительно стабилен, то может иметь место неисправность на вводах кабеля;
- сильные колебания тока зарядки могут быть вызваны наличием влаги в соединительных муфтах;
- если ток зарядки большой и начинает расти пилообразно, это означает, что в изоляции образовались проводящие каналы. В этом, очень редком, случае кабель скоро полностью выйдет из строя.

На третьем этапе производится разрядка емкости кабеля через разрядное сопротивление в течение 2 секунд.

На четвертом этапе в течение 30 минут проводится измерение возвратного напряжения.

Между первым и вторым циклами измерений производится разрядка кабеля в течение 15-30 минут в зависимости от величины возвратного напряжения в конце первого цикла измерений.

2006

Л.3 Для определения состояния изоляции кабеля рекомендуется использовать параметры, приведенные в таблице Л.2, рассчитанные в результате обработки зависимости возвратного напряжения от времени.

Способ получения вышеуказанных параметров приведен на рисунках Л.3, Л.4, Л.5, Л.6.

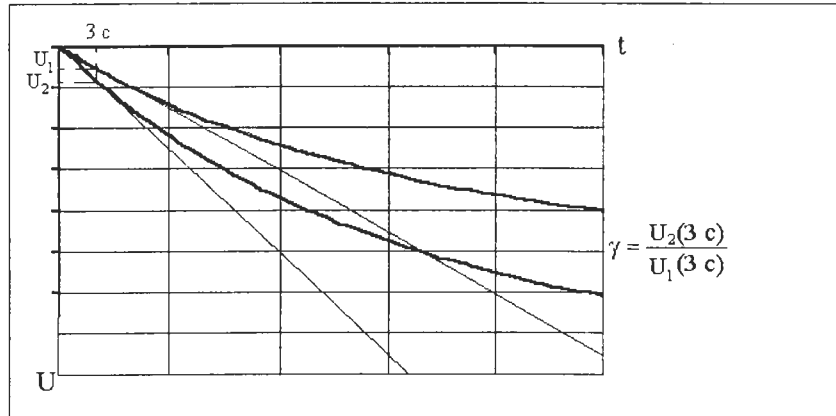


Рисунок Л.3 – Определение отношения производных в начале кривых возвратного напряжения, γ

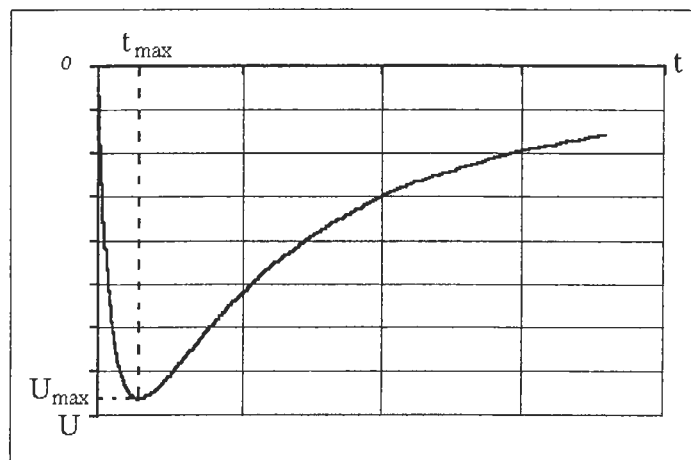


Рисунок Л.4 – Максимум и время максимума кривой возвратного напряжения

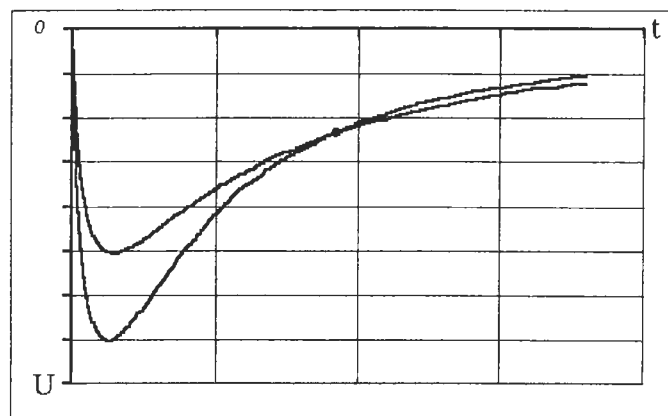


Рисунок Л.5 – Пересечение кривых возвратного напряжения

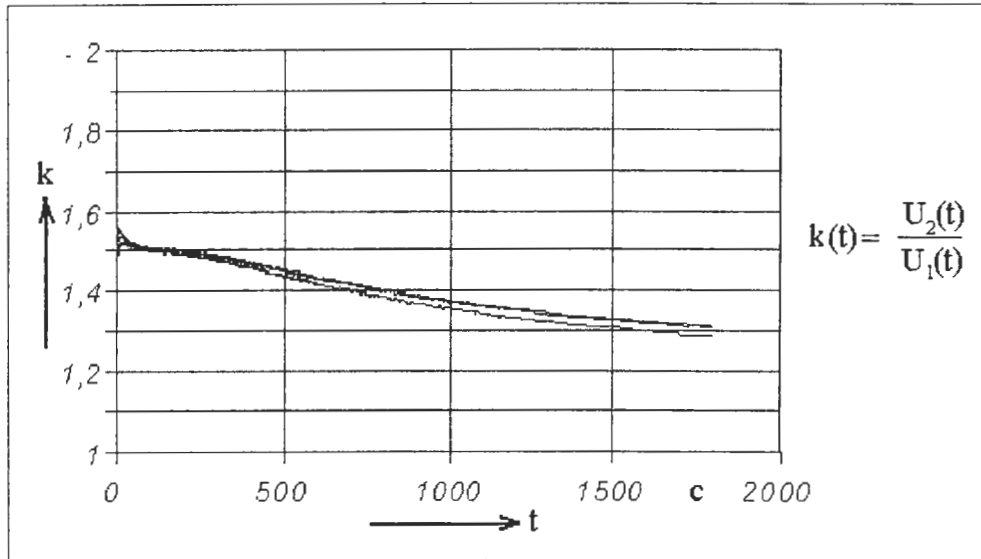


Рисунок Л.6 – Отношение возвратных напряжений, $k(t)$

Л.4 Состояние изоляции КЛ рекомендуется определять в соответствии с критериями, приведенными в таблице Л.2.

На основе анализа полученных параметров делается заключение о степени старения изоляции. Степень старения изоляции рекомендуется оценивать данным методом по четырем категориям:

- несостаренная;
- начальная степень старения;
- состаренная;
- предельная степень старения.

Нормативные значения критериев оценки степени старения изоляции рекомендуется формировать для конкретных типов кабелей и отражать в формуляре №10 паспорта технического состояния КЛ (приложение Б).

2006

Таблица Л.2 – Нормативы оценки технического состояния кабелей
напряжением 6 кВ и 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

№	Параметры	Критерий неисправного состояния	Примечание
1	Отношение производных в начале кривых возвратного напряжения двух циклов измерений, γ	Менее 1,5	Рисунок Л.3.
2	Максимальная величина возвратного напряжения, U_{\max} .	Более или равна своей предельной величине ($U_{\max}^{пред}$)	Значение $U_{\max}^{пред}$ определяется опытным путем для конкретной марки кабеля. Рисунок Л.4.
3	Положение максимума возвратного напряжения на временной шкале, t_{\max}	Менее своей предельной величины ($t_{\max}^{пред}$) для данной конфигурации кабеля	Значение $t_{\max}^{пред}$ определяется опытным путем для конкретной марки кабеля. Рисунок Л.4.
4	Расположение кривых возвратного напряжения для двух циклов измерений.	1. Кривые пересекаются. 2. Кривые сильно отличаются для разных жил в одном цикле измерений.	Рисунок Л.5
5	Отношение возвратных напряжений $k(t)$	Менее либо равно значению своего предельного состояния $k(t)^{пред}$	Это отношение свидетельствует о степени старения изоляции в кабеле, например, его уменьшение до величины 1,4 свидетельствует для кабеля типа ААШВ напряжением 6 кВ о существенном старении и необходимости замены кабеля или ремонта. Рисунок Л.6.

Приложение М (рекомендуемое)

Измерение изотермического тока релаксации установкой CDS

М.1 Для определения технического состояния силовых кабелей с СПЭ изоляцией напряжением 6 кВ и 10 кВ с использованием установки CDS производства фирмы "Seba KMT" (Германия) рекомендуется проводить анализ формы кривой изотермического тока релаксации. Процедура проведения самих измерений описана в инструкции по эксплуатации установки CDS. За три часа до измерения следует отключить, отсоединить и заземлить жилы кабеля для обеспечения разрядки емкости кабеля и деполяризации изоляции. Для проведения измерений рекомендуется производить зарядку кабеля при напряжении 1 кВ. После проведения измерений кабель заземляется на время достаточное для его разрядки.

М.2 Принципиальная схема измерения изотермического тока релаксации представлена на рисунке М.1. В установке CDS в качестве устройства для записи показаний используется портативный компьютер, а измерительный преобразователь включает в себя усилитель и АЦП. Внешний вид установки CDS представлен на рисунке Л.2, а основные технические характеристики установки – в таблице Л.1.

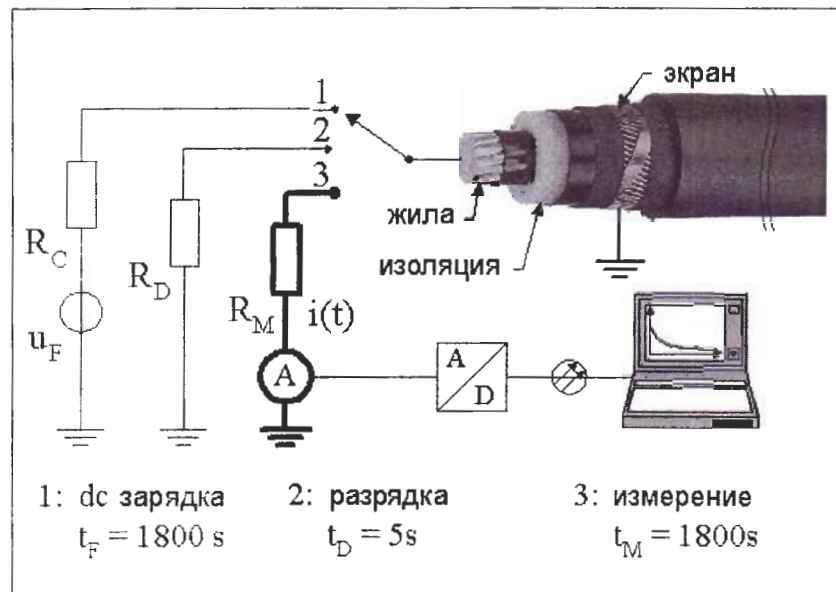


Рисунок М.1 – Схема измерения изотермического тока релаксации

М.3 Анализ формы кривой изотермического тока релаксации проводится автоматически установленным на промышленный компьютер программным обеспечением, реализующим алгоритмы обработки информации на основе нечеткой логики (fuzzy logic). По результатам анализа данных изоляция кабеля по своему техническому состоянию относится к одной из четырех категорий:

- состояние изоляции отличное (Perfect);
- состояние изоляции нормальное (Mid-life);
- состояние изоляции соответствует высокой, но все еще допустимой, степени старения (Old);
- аварийное критическое состояние изоляции (Critical).

Приложение Н (рекомендуемое)

Измерение частичных разрядов в изоляции системой OWTS

Н.1 Для определения технического состояния КЛ в полевых условиях методом измерения частичных разрядов может применяться система OWTS немецкой фирмы Seba KMT.

Н.2 Применение данной диагностической системы позволяет выявить дефекты с точностью локализации места расположения до 1% от длины диагностируемой КЛ.

Н.3 Внешний вид установки OWTS показан на рисунке Н.1. Основные технические характеристики приведены в таблице Н.1.



Рисунок Н.1

Таблица Н.1 – Основные технические характеристики OWTS

Напряжение питания, В; Гц	115 / 230; 50 / 60
Максимальное испытательное напряжение DC, кВ	36
Размеры измерительного блока, мм	400 x 534 x 580
Вес измерительного блока, кг	32

2006

Окончание таблицы Н.1

Размеры блока с катушкой индуктивности, мм	диаметр 500; высота 880
Вес блока с катушкой индуктивности, кг	65
Диапазон частот осцилирующего напряжения, Гц	50 – 1000
Диапазон емкостей кабеля, мкФ	0,01 – 2
Диапазон измеряемых значений $\operatorname{tg}\delta$	0,001 – 0,1
Максимальный ток, А	80
Диапазон измеряемых ЧР, пКл	1 – 100 000
Ток заряда емкости кабеля, мА	до 12
Диапазон рабочих температур, °С	от +5 до +40
Индуктивность катушки с воздушным сердечником, Гн	0,75
Ширина полосы сигналов ЧР, кГц	150 - 650
Ширина полосы при локализации места расположения ЧР, кГц	150 - 3 000
Длина испытываемой кабельной линии: - для кабелей с БПИ, м - с СПЭ изоляцией, м	до 3000 до 7000

Н.4 Система OWTS состоит из высоковольтного источника постоянного напряжения, прецизионного выключателя, катушки индуктивности, блока регистрации ЧР и промышленного компьютера с установленным программным обеспечением, реализующим алгоритм управления силовой частью системы, накопления и обработки результатов измерений ЧР. Длина испытываемой кабельной линии для кабелей с БПИ может быть до 3 км, а с изоляцией из сшитого полиэтилена до 7 км. Испытания рекомендуется проводить с двух противоположных концов кабельной линии поочередно.

Н.5 Принципиальная схема локализации частичных разрядов системой OWTS представлена на рисунке Н.2. На выход системы подключается тестируемый кабель, как изображено на рисунке Н.2, делитель и детектор частичных разрядов, сигналы с которого через блок АЦП поступают в компьютер. Перед началом диагностики в течение нескольких секунд кабель заряжается от высоковольтного источника постоянного напряжения. После этого замыкается прецизионный выключатель, и в последовательном контуре (индуктивность, активное

2006

сопротивление кабеля, емкость кабеля) возникает затухающее переменное напряжение синусоидальной формы с частотой вычисляемой по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad , \quad (Н.1)$$

где L – индуктивность катушки, имеющая значение 0,75 Гн;

C – емкость кабеля.

Время одного измерительного цикла до 30 миллисекунд, напряжение не должно превышать номинального значения для обследуемой КЛ. При этих условиях не происходит повреждение изоляции кабельной линии. Когда в дефектных местах изоляции под воздействием напряжения создаются условия для перекрытия изоляции, возникают частичные разряды, параметры которых фиксируются компьютером. Каждый частичный разряд является источником электромагнитной волны, распространяющейся по кабелю. По разнице во времени между приходом прямого и отраженного от противоположного конца кабеля сигнала определяется месторасположение ЧР.

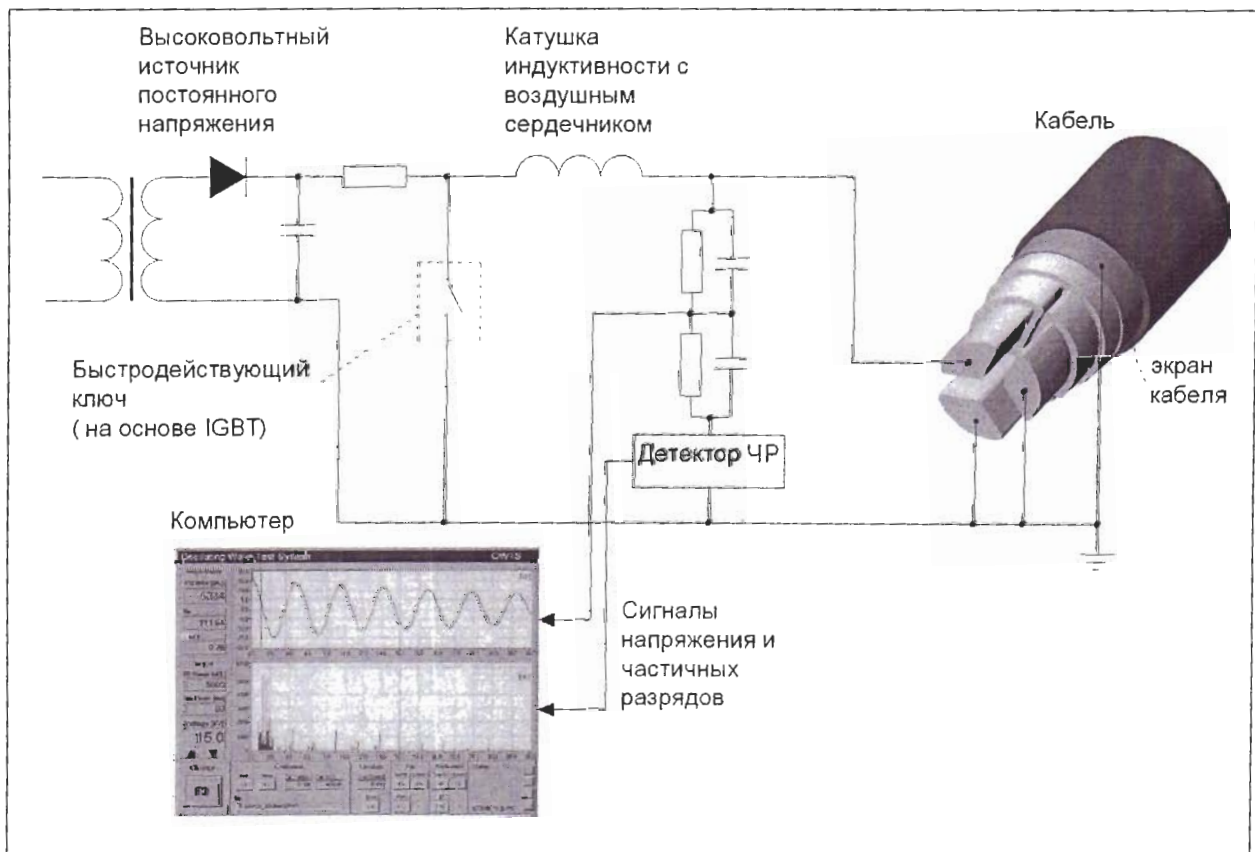


Рисунок Н.2

Н.6 В таблице Н.2 представлены этапы деградации изоляции с последующим образованием ЧР. В таблице Н.3 приведены дефекты, которые обнаруживаются методом измерения ЧР [6].

Таблица Н.2 – Типичные процессы деградации изоляции КЛ

Место возникновения ЧР	Этапы, предшествующие возникновению ЧР
Муфты, заделки	Проблемы на границах разных материалов → ЧР → трэкинг диэлектрика
	Плохое отверждение наполнителя → растрескивание → ЧР
	Повышенное сопротивление в соединениях проводников → перегрев → растрескивание → ЧР
	Локальные высокие концентрации эл. поля → ЧР
Кабельная изоляция из сшитого полиэтилена	Водные трининги → электрические трининги → ЧР (пробой изоляции за несколько часов)
	Пустоты в изоляции → расслоение → электрические трининги → ЧР (пробой изоляции за несколько часов)
	Локальные высокие концентрации эл. поля → ЧР
Бумажная пропитанная изоляция	Утечка пропитывающего состава → области осушения изоляции → перегрев → ЧР
	Проникновение влаги → эффект нагрузки → перегрев → ЧР
	Локальные высокие концентрации эл. поля → ЧР

Таблица Н.3 – Типичные дефекты изоляции для разных компонент КЛ

Тип изоляции кабеля	Место расположения дефекта	
	Соединительные муфты, концевые муфты и заделки	Изоляция кабеля
Бумажная пропитанная изоляция	Острые кромки в местах соединений	Повреждение оболочки кабеля
	Проникновение влаги	Внутренние повреждения, являющиеся результатом изгиба кабеля
	Пузырьки воздуха/газа	Уменьшение количества пропитывающего бумагу состава (осушение)
	Плохо отвержденный наполнитель	Трэкинг диэлектрика

Окончание таблицы Н.3

Тип изоляции кабеля	Место расположения дефекта	
	Соединительные муфты, концевые муфты и заделки	Изоляция кабеля
Изоляция из сшитого полиэтилена	Острые кромки в местах соединений	Повреждение оболочки кабеля
	Проникновение влаги	
	Воздушные полости	
	Плохо отвержденный наполнитель	
	Смещение градиента поля	
	Проблемы на границах разных материалов	

Н.7 С помощью установки OWTS для участков КЛ (1% от общей длины КЛ) рекомендуется определение диагностических параметров, приведенных в таблице Н.4. Под типичным значением подразумевается численное значение параметра, полученное эмпирическим путем для данного конкретного типа кабеля, муфты, заделки [6]. Система OWTS, кроме того, позволяет определить емкость кабеля и тангенс угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$) в изоляции кабеля.

Н.8 После обработки и анализа полученных данных система формирует диаграммы с указанием мест возникновения частичных разрядов их количества и амплитуды в пКл. Диаграммы позволяют определить проблемные места кабельной линии с точностью 1 % от длины КЛ.

Таблица Н.4 – Параметры и их характеристики, используемые для интерпретации результатов измерений, выполненных с использованием установки OWTS

Параметр	Характеристика
Напряжение возникновения ЧР, кВ	МЕНЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
	БОЛЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
Напряжение исчезновения ЧР, кВ	МЕНЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
	БОЛЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
Величина ЧР, пКл максимальная и средняя	МЕНЬШЕ типичного значения
	БОЛЬШЕ типичного значения
Интенсивность ЧР	Низкая
	Высокая
Характер ЧР	Одиочные ЧР
	Повторяющиеся ЧР
Распределение ЧР	ЧР сконцентрированы в локальном месте
	ЧР распределены по длине кабеля
Расположение ЧР	Изоляция кабеля
	Муфты, заделки

Н.9 На рисунке Н.3 представлен алгоритм процесса интерпретации результатов измерений.

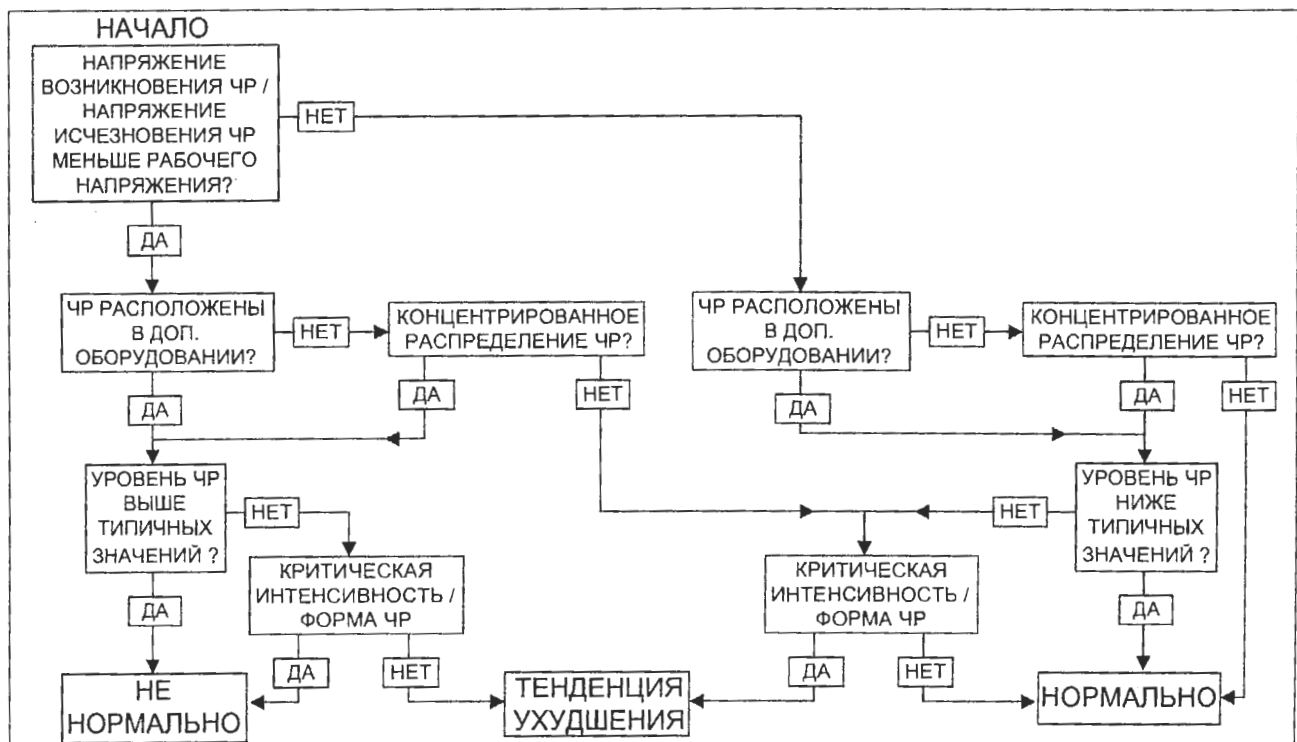


Рисунок Н.3 – Алгоритм для оценки состояния изоляции.

Н.10 Для оценки технического состояния КЛ на данном этапе рекомендуется использовать нормативы, приведенные в таблице Н.5, Н.6. Критерии оценки измеряемых параметров вырабатываются для конкретного оборудования в ходе регулярных обследований [6].

Таблица Н.5 – Нормативы оценки технического состояния кабелей напряжением 6 кВ и 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

№	Параметр		Индекс 0	Индекс 1	Индекс 2	Индекс 3
			Тестирование через 5 лет	Тестирование в течение 1 года	Ремонт в теч. 1 года, с послед. диагностикой	Эксплуатации не подлежит
1	Максимальная величина ЧР в локальном месте, q , пКл		1200	1200-7500	7500-15000	>15000
2	Среднее кол-во ЧР в локальном месте за один цикл измер., N , штук/сек		0,25	0,25-0,5	0,5-1,5	>1,5
3	Напряжение возникновения ЧР $U_{вчр}$, кВ (RMS)	номин. 6 кВ	5,3	5,3-3,6	3,6-1,9	<1,9
		номин. 10 кВ	8,9	8,9-6,0	6,0-3,2	<3,2

Таблица Н.6 – Нормативы оценки технического состояния кабелей напряжением 6 кВ и 10 кВ с СПЭ изоляцией

№	Параметр		Индекс 0	Индекс 1	Индекс 2	Индекс 3
			Тестирование через 5 лет	Тестирование в течение 1 года	Ремонт в теч. 1 года, с послед. диагностикой	Эксплуатации не подлежит
1	Максимальная величина ЧР в локальном месте, q , пКл		1200	1200-5000	5000-10500	>10500
2	Среднее кол-во ЧР в локальном месте за один цикл измер., N , штук/сек		0,25	0,25-0,5	0,5-1,5	>1,5
3	Напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение), U_m , кВ	номин. 6 кВ	8,5	8,5-5,9	5,9-3,2	<3,2
		номин. 10 кВ	14,2	14,2-8,5	8,5-4,5	<4,5

Приложение П (рекомендуемое)

Диэлектрическая спектроскопия изоляции установкой IDA-200

П.1 Для определения технического состояния бумажной пропитанной изоляции кабеля в полевых условиях методом диэлектрической спектроскопии рекомендуется применять установки типа IDA-200 шведской фирмы Programma Electric AB.

П.2 При использовании IDA-200 измеряемой величиной является значение тангенса угла диэлектрических потерь в БПИ кабеля. Графики зависимостей значений $\operatorname{tg} \delta$ от частоты показаны на рисунках П.1 и П.2. Значение минимума функции $\operatorname{tg} \delta$ от частоты не зависит от температуры и увеличивается при увеличении влажности БПИ. Критерием для определения технического состояния изоляции служит минимальное значение $\operatorname{tg} \delta$.

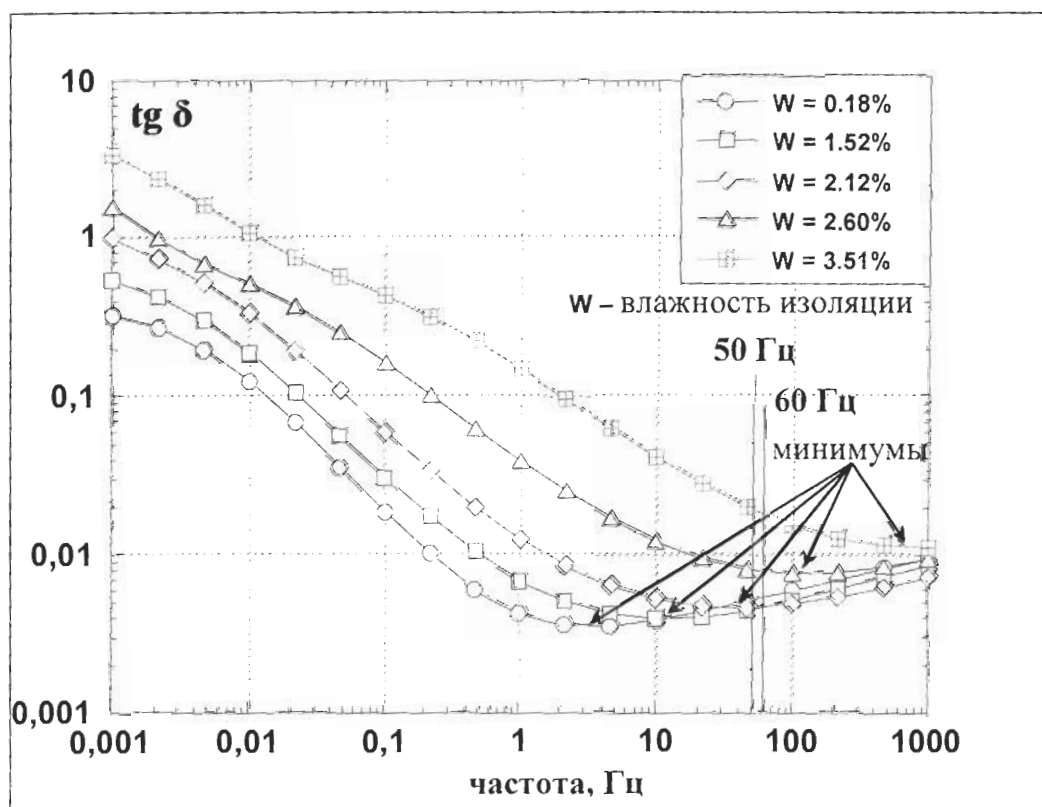


Рисунок П.1 – Зависимость значений тангенса угла диэлектрических потерь от частоты напряжения, прикладываемого к кабелям с различной влажностью бумажной пропитанной изоляции при температуре 22°C

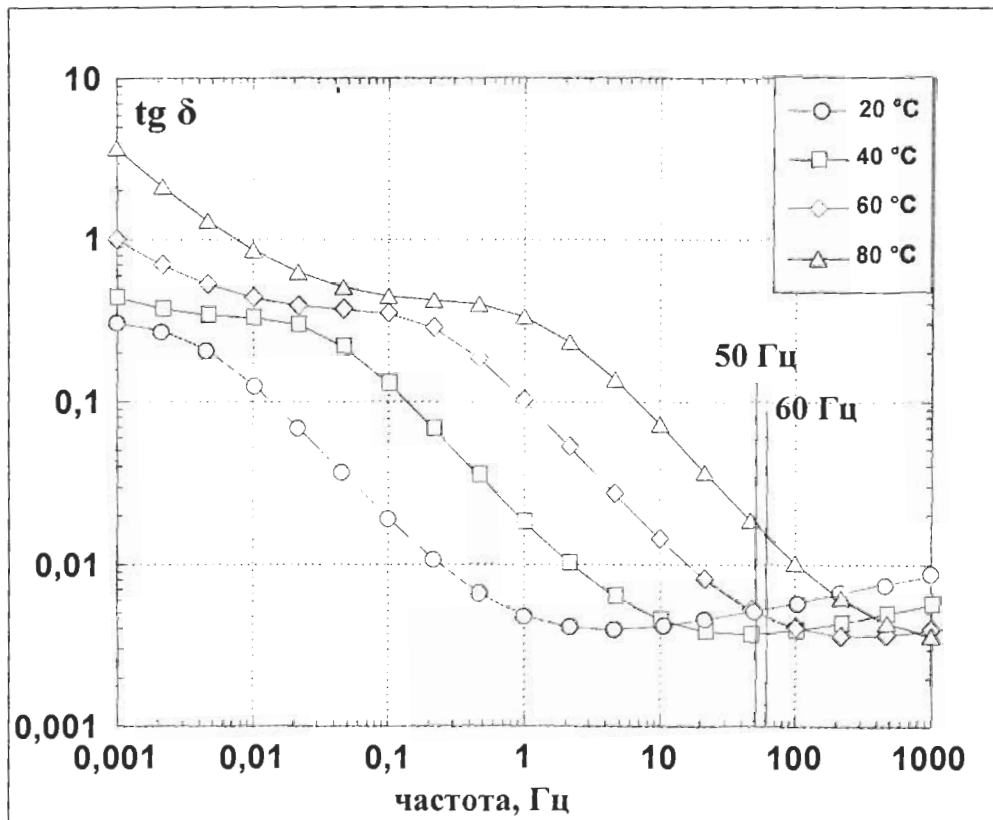


Рисунок П.2 – Зависимость значений тангенса угла диэлектрических потерь от частоты напряжения, прикладываемого к кабелям с различной температурой бумажной пропитанной изоляции, влажность которой меньше 0,5%

П.3 Внешний вид установки IDA-200 показан на рисунке П.3. Основные технические характеристики приведены в таблице П.1.



Рисунок П.3

Таблица П.1 – Основные технические характеристики IDA-200

Напряжение питания, В; Гц	115 / 230; 50 / 60
Максимальная полная потребляемая мощность, ВА	250
Размеры измерительного блока, мм	450 x 160 x 410
Вес измерительного блока, кг	15
Размеры транспортировочного контейнера, мм	560 x 230 x 565
Полный вес системы с контейнером и аксессуарами, кг	30
Размер дисплея по диагонали, см	16
Диапазон измеряемых емкостей, пФ	10 – 100 000 000
Диапазон измеряемых значений $\text{tg}\delta$	0-10
Отношение выходного напряжения, В	0 – 10; 0 – 200
Отношение выходного тока, мА	0 – 50
Диапазон рабочих частот, Гц	0,0001 - 1 000
Диапазон рабочих температур, °С	от 0 до +55
Диапазон температур при хранении и транспортировке, °С	от -40 до +70
Допустимая относительная влажность воздуха при эксплуатации установки, %	менее 95 (без образования конденсата) 30 дней в году, в оставшееся время менее 85
Длина диагностируемой КЛ (ограничена емкостью 100 мкФ), км	не менее 3

П.4 За час до проведения измерений рекомендуется отключить и заземлить жилы кабеля для обеспечения его разрядки и деполяризации изоляции. Измерительная схема собирается в соответствии с инструкцией по эксплуатации установки. Измерение значений $\text{tg}\delta$ БПИ каждой жилы кабеля проводится отдельно, поочередно. Допускается проведение измерений зависимости значений $\text{tg}\delta$ от частоты в диапазоне 0,01 – 1000 Гц.

П.5 Полученные в ходе измерений значения минимумов $\text{tg}\delta$ сравниваются с нормативными параметрами для БПИ кабеля, которые приведены в таблице П.2. Состояние изоляции рекомендуется оценивать данным методом по четырем категориям, соответствующим одной из четырех областей значений минимума $\text{tg}\delta$.

Таблица П.2 – Характеристика состояния бумажной пропитанной изоляции кабеля

минимальное значение $\text{tg } \delta$	влажность изоляции, %	состояние изоляции
0,002 – 0,0035	менее 1	сухая / хорошее
0,0035 – 0,005	1 – 2,5	умеренно влажная / средняя степень старения
0,005 – 0,01	2,5 – 3,5	значительно увлажнена / высокая степень старения
более 0,01	более 3,5 или есть локальный дефект	очень высокая влажность или есть локальный дефект / неудовлетворительное состояние

2006

точного определения положения объекта. Максимальное отклонение показаний индикатора указывает на положение проводника.

Р.1.4 При нахождении непосредственно над проводником, как изображено на рисунке Р.2, и при регулировке чувствительности соответствующей наиболее узкому отклику, вращают локатор вокруг его вертикальной оси до тех пор, пока не будет получен минимум сигнала. Это свидетельствует о том, что плоская часть локатора находится на одной линии с искомым проводником.

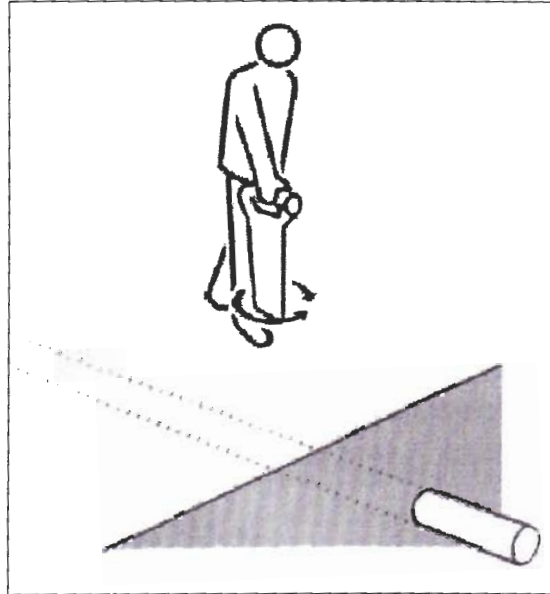


Рисунок Р.2

Р.1.5 Локатор не позволяет различать сигнал, идущий от отдельного кабеля или от нескольких кабелей, расположенных вблизи друг друга.

Р.2 Поиск кабеля с использованием генератора сигналов

Р.2.1 Для ввода сигнала в кабель используется генератор сигналов (например, частотой 33 кГц). Этот сигнал фиксируется локатором, настроенным на частоту излучаемого генератором сигнала. Для определения точного места расположения линии используются те же приемы, что и описанные в пункте Р.1.

Р.2.2 Прямое подключение к проводящей оболочке кабеля – наиболее эффективный способ ввода сигнала в кабель. При таком способе один проводник, идущий от генератора, соединяется с оболочкой, а второй надежно заземляется.

2006

Индукционный метод, используемый для регистрации сигнала, предполагает наличие контура с протекающим по нему током сигнала генератора. Этот контур может быть образован как физическими проводами, так и в случае использования штырей заземления одним физическим проводом и грунтом. Поэтому перед работой рекомендуется убедиться в том, что оболочка кабеля заземлена на противоположном конце.

Р.2.3 Использование индукции – удобный и быстрый способ ввода сигнала генератора в кабель с ограниченным доступом, где невозможно выполнить прямое подключение или использовать индукционные клещи. Кабель может оставаться под напряжением.

Р.2.4 Генератор устанавливается над предполагаемым местом расположения кабеля, ориентируясь так, как показано на рисунке Р.3. Трассировка кабеля начинается на расстоянии более 5 м от генератора. При работе вблизи генератора могут быть получены ошибочные показания, так как локатор будет в большей степени регистрировать сигнал непосредственно от генератора, чем от кабеля.

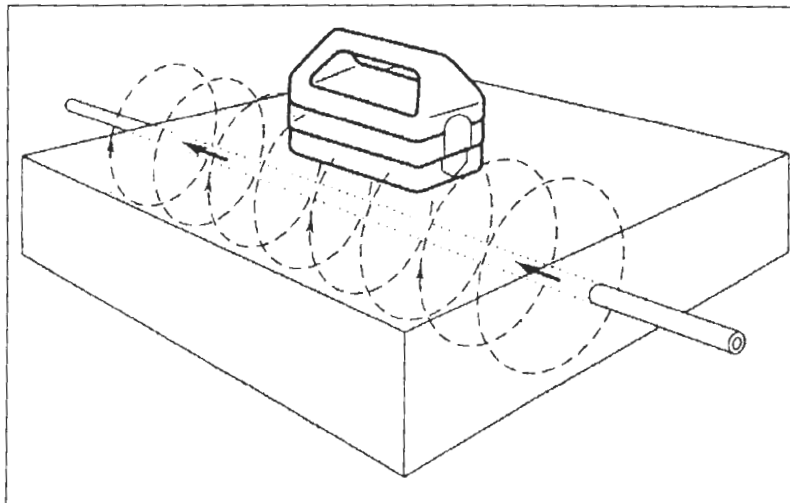


Рисунок Р.3

Р.2.5 При использовании индукции возможен активный поиск кабеля. Расположив генератор на боку, обследуется заданная область на наличие сигнала генератора, как изображено на рисунке Р.4. Либо используется способ работы с двумя операторами для обследования заданной области на наличие подземных коммуникаций, как изображено на рисунке Р.5.

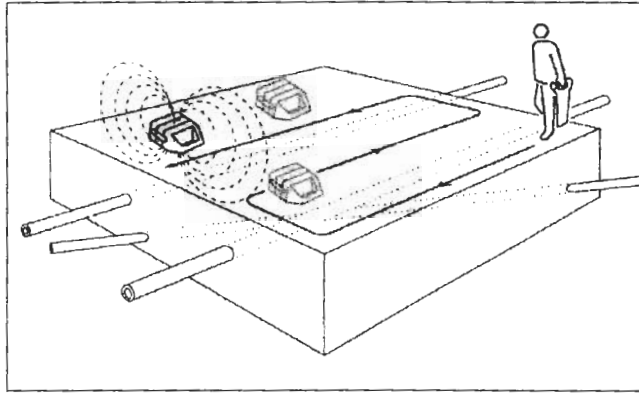


Рисунок Р.4

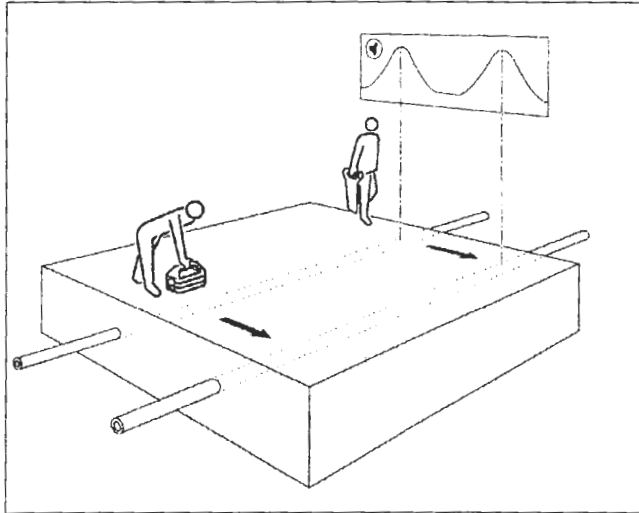


Рисунок Р.5

Р.2.6 Для ввода сигнала генератора в кабель, находящийся под напряжением, можно использовать индукционные клещи. Клещи устанавливаются на кабеле, как изображено на рисунке Р.6. В этом случае, нет необходимости в выполнении соединения с землей, однако эффективная передача сигнала возможна только тогда, когда искомый проводник (экран кабеля) заземлен с обоих концов.

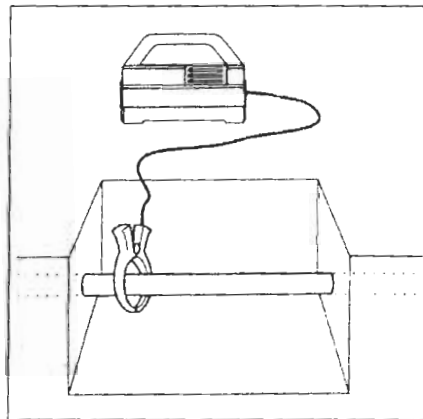


Рисунок Р.6

2006

Р.2.7 Некоторые комплекты трассопоискового оборудования позволяют оценить глубину, на которой находится кабель.

Приложение С (рекомендуемое)

Выявление и оценка дефектов при тепловом контроле

С.1 Тепловой контроль рекомендуется проводить для всех элементов КЛ доступных для наблюдения без демонтажа.

С.2 При тепловом контроле рекомендуется использовать тепловизоры с разрешающей способностью не более 0,1 °С, предпочтительно со спектральным диапазоном 8-12 мкм.

С.3 Коэффициент излучения материала в общем виде зависит от длины волны, угла наблюдения поверхности контролируемого объекта и температуры.

Для металлов коэффициенты излучения постоянны в интервале углов наблюдения от 0 до 40 °, для диэлектриков – в интервале углов от 0 до 60 °. За пределами этих значений коэффициент излучения быстро уменьшается до нуля при направлении наблюдения по касательной к поверхности материала.

Коэффициенты излучения металлов увеличиваются с ростом температуры и зависят от состояния поверхности металла.

Поскольку токоведущий узел электроустановки может включать в себя несколько компонентов из разнородных металлов, поверхности которых окрашены, имеют окисные пленки или разную степень обработки и следовательно различную излучательную способность, при тепловом контроле могут возникнуть предположения о перегревах на участках с повышенными коэффициентами излучения. В этом случае, если коэффициент излучения контролируемого объекта известен, его фактическая температура $T_{факт}$, °С, может быть определена по формуле

$$T_{факт} = \frac{T_{рад}}{\sqrt[4]{E}}, \quad (C.1)$$

где $T_{рад}$ – радиационная температура, измеренная с помощью тепловизора, °С;

2006

Е – коэффициент излучения контролируемой поверхности.

С.4 Для исключения влияния солнечной радиации тепловой контроль проводится в ночное время суток или в облачную погоду.

С.5 При необходимости выполнять измерения при солнечной погоде, их рекомендуется производить для каждого объекта поочередно из нескольких диаметрально противоположных точек.

С.6 При проведении теплового контроля на открытом воздухе, рекомендуется принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта.

Рекомендуется не проводить измерения при скорости ветра выше 8 м/с.

С.7 Контроль контактных соединений рекомендуется производить в соответствии с РД 34.45-51.300- 97 [1] при нагрузке не менее 30 % от номинальной.

Контроль изоляции КЛ рекомендуется начинать не ранее, чем через два часа после подачи напряжения на КЛ.

С.8 Тепловой контроль рекомендуется производиться с расстояния, позволяющего фиксировать распределение температуры каждого элемента контролируемого объекта в отдельности (при необходимости применяются тепловизоры с телеобъективами).

С.9 Оценку теплового состояния КЛ и ее частей в зависимости от условий их работы и конструкции рекомендуется осуществлять:

- по нормированным температурам нагрева (превышениям температуры);
- избыточной температуре;
- коэффициенту дефектности;
- динамике изменения температуры во времени;
- с изменением нагрузки;
- путем сравнения измеренных значений температуры в пределах фазы, между фазами, с заведомо исправными участками и т.п.

2006

С.10 Оценка технического состояния обследуемого объекта производится в соответствии с требованиями документа РД 34.45-51.300 – 97 [1]. Предельные значения температуры нагрева и ее превышения приведены в таблице С.4.

С.11 Тепловое состояние характеризуется следующими параметрами:

- превышение температуры — разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха;

- избыточная температура — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях;

- коэффициент дефектности — отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренному на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.

С.12 Оценку состояния сварных и выполненных обжатием контактных соединений рекомендуется производить по избыточной температуре или коэффициенту дефектности.

С.13 При оценке теплового состояния токоведущих частей различают три степени неисправности исходя из приведенных в таблице С.1 значений коэффициента дефектности.

Таблица С.1

Значение коэффициента дефектности	Характеристика неисправности токоведущих частей
Не более 1,2	Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем
1,2-1,5	Развившийся дефект. Принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы
Более 1,5	Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения

С.14 Кабельная линия не должна иметь контактных соединений и участков с повышенной более чем на 2 °С по сравнению с соседним участком температурой, обусловленной протеканием в них электрического тока. Не должна

2006

отличаться температура аналогичных шин и выводов, находящихся в одинаково нагруженных условиях. Рекомендуется учитывать возможный перекося по фазам в результате работы таких потребителей как освещение.

С.15 При оценке состояния контактов и БКС по избыточной температуре и токе нагрузки $0,5I_{ном}$ различают три степени неисправности, указанных в таблице С.2.

Таблица С.2

Избыточная температура, °С	Характеристика неисправности БКС
5-10	Начальная степень неисправности, которую следует держать под контролем и принимать меры по ее устранению во время проведения ремонта, запланированного по графику.
10-30	Развившийся дефект. Принять меры по устранению неисправности при ближайшем выводе электрооборудования из работы.
более 30	Аварийный дефект. Требуется немедленного устранения.

С.16 Для контактов и болтовых контактных соединений (БКС) нормативами из таблицы С.5 рекомендуется пользоваться при токах нагрузки $(0,6-1,0) \cdot I_{ном}$ после соответствующего пересчета. Пересчет превышения измеренного значения температуры к нормированному осуществляется, исходя из соотношения, выраженного формулой

$$\frac{\Delta T_{ном}}{\Delta T_{раб}} = \left(\frac{I_{ном}}{I_{раб}} \right)^2, \quad (С.2)$$

где $\Delta T_{ном}$ – превышение температуры при номинальном токе $I_{ном}$;

$\Delta T_{раб}$ – то же, при рабочем токе $I_{раб}$.

С.17 При оценке состояния контактов и болтовых КС по превышению температуры и токе нагрузки $(0,6-1,0) \cdot I_{ном}$, различают следующие области по степени неисправности, приведенные в таблице С.3.

Таблица С.3 – Оценка состояния контактов по превышению температуры

Степень неисправности	Значение превышения температуры, $\Delta T_{ном}$, °С, при номинальной нагрузке	Срок устранения неисправности
Начальная степень	От 10 включ. до 20	Меры по устранению неисправности принимаются во время проведения ремонта, запланированного по графику
Развившийся дефект	От 20 включ. до 40	Меры по устранению неисправности принимаются при ближайшем выводе электрооборудования из работы
Аварийный дефект	Св. 40 включ., но не более значений, приведенных в таблице С.5	Требуется немедленное устранение неисправности

С.18 При токах нагрузки $(0,3-0,6) \cdot I_{ном}$ оценка состояния контактов проводится по избыточной температуре. В качестве норматива используется значение температуры, пересчитанное на $0,5 \cdot I_{ном}$.

Для пересчета используется соотношение, выраженное формулой

$$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{раб}} = \left(\frac{0,5 I_{ном}}{I_{раб}} \right)^2, \quad (С.3)$$

где $\Delta T_{0,5}$ – избыточная температура при токе нагрузки $0,5 I_{ном}$.

С.19 Тепловой контроль электрооборудования и токоведущих частей при токах нагрузки $0,3 \cdot I_{ном}$ и ниже не способствует выявлению дефектов на ранней стадии их развития.

Таблица С.4

№	Характеристика	Критерий	Состояние	Измерительный прибор	Погр. °С
1	Повышенная температура нагрева участка кабеля	Сопоставляется с соседними участками и предельными значениями	Пониженное сопротивления изоляции	Тепловизор	0,1
2	Повышенная температура нагрева контактного соединения	Сопоставляется с другими в параллельных ветвях и предельными значениями	Дефект контактного соединения	Тепловизор	0,1

Таблица С.5 – Допустимые температуры нагрева

Контролируемые узлы	Характеристика узла	Наибольшее допустимое значение	
		Температура нагрева, °С	Превышение температуры, °С
1. Металлические части (за исключением контактов и контактных соединений) изолированные или соприкасающиеся с изоляционными материалами классов нагревостойкости по ГОСТ 8865:	не соприкасающиеся и неизолированные	120	80
	У	90	50
	А	100	60
	Е	120	80
	В	130	90
	F	155	115
	Н	180	140
2. Контакты из меди и медных сплавов:	- без покрытий, в воздухе/в изоляционном масле	75/80	35/40
	- с накладными серебряными пластинами, в воздухе/в изоляционном масле	120/90	80/50

Продолжение таблицы С.5

Контролируемые узлы	Характеристика узла	Наибольшее допустимое значение	
		Температура	Превышение температуры, °С
2. Контакты из меди и медных сплавов:	- с покрытием серебром или никелем, в воздухе/в изоляционном масле	105/90	65/50
	- с покрытием серебром толщиной не менее 24 мкм	120	80
	- с покрытием оловом, в воздухе/в изоляционном масле	90/90	50/50
3. Контакты металлокерамические вольфрам- и молибденсодержащие в изоляционном масле на основе меди/на основе серебра		85/90	45/50
4. Аппаратные выводы из меди, алюминия и их сплавов, предназначенные для соединения с внешними проводниками электрических цепей:	- без покрытия	90	50
	- с покрытием оловом, серебром или никелем	105	65
5. Болтовые контактные соединения из меди, алюминия и их сплавов:	- без покрытия, в воздухе/в изоляционном масле	90/100	50/60
	- с покрытием оловом, в воздухе/в изоляционном масле	105/100	65/60
	- с покрытием серебром или никелем, в воздухе/в изоляционном масле	115/100	75/60

Продолжение таблицы С.5

Контролируемые узлы	Характеристика узла	Наибольшее допустимое значение	
		Температура	Превышение температуры, °
6. Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше: соединения из меди, алюминия и их сплавов в воздухе без покрытий/с покрытием оловом:	- с разъемным контактным соединением, осуществляемым пружинами;	75/95	35/55
	- с разборным соединением (нажатие болтами или винтами)	90/105	50/65
	- выводы предохранителя, используемые как пружины из меди	75	35
	- выводы предохранителя, используемые как пружины из фосфористой бронзы и аналогичных сплавов	105	65
7. Изоляционное масло в верхнем слое коммутационных аппаратов		90	50
8. Встроенные трансформаторы тока:	- обмотки	—	10
	- магнитопроводы	—	15
9. Болтовое соединение токоведущих выводов съемных вводов в масле/в воздухе		—	85/65
10. Коллекторы и контактные кольца, незащищенные и защищенные при изоляции классов нагревостойкости:	А/Е/В	—	60/70/80
	Г/Н	—	90/100
11. Подшипники скольжения/качения		80/100	—

Окончание таблицы С.5

Контролируемые узлы	Характеристика узла	Наибольшее допустимое значение	
		Температура нагрева, °С	Превышение температуры, °
12. Соединения устройств РПН силовых трансформаторов из меди, ее сплавов и медесодержащих композиций без покрытия серебром при работе на воздухе/в масле:	- с нажатием болтами или другими элементами	—	40/25
	- с нажатием пружинами и самоочищающиеся в процессе переключения	—	35/20
	- с нажатием пружинами и не самоочищающиеся в процессе переключения	—	20/10
13. Токоведущие жилы силовых кабелей в режиме длительном/аварийном при наличии изоляции:	- из ПВХ пластика и полиэтилена	70/80	—
	- из вулканизирующегося полиэтилена	90/130	—
	- из резины	65/—	—
	- из резины повышенной теплостойкости	90/—	—
	- с бумажной пропитанной изоляцией при вязкой/обедненной пропитке и номинальном напряжении, 1 и 3 кВ	80/80	—
	----/---- 6 кВ	65/75	—
	----/---- 10 кВ	60/—	—
	----/---- 20 кВ	55/—	—
----/---- 35 кВ	50/—	—	

Приложение Т (рекомендуемое)

Критерии неработоспособного состояния кабельной линии

Таблица Т.1

Объект	Метод / Применяемое оборудование	Параметр	Значение критерия, определяющее состояние КЛ как неработоспособное
ЗУ концевых заделок и муфт	Прибор для измерения сопротив- ления ЗУ	Сопротивление заземления $R_{ЗУ}$	больше значения, указанного в таблице Д.1
Контактные соединения, концевые муфты, соедини- тельные муфты, концевые заделки, кабель, разделан- ные жилы кабеля	Тепловой контроль / тепловизор	Температура нагрева T контролируемого узла, указанного в таблице Р.4	выше наибольшего допустимого значения, указанного в таблице Р.4
		Превышение температуры ΔT для контролируемого узла, указанного в таблице Р.4	выше наибольшего допустимого значения, указанного в таблице Р.4
		Коэффициент дефектности k_d для контактного соединения	более 1,5
		Избыточная температура $\Delta T_{0,5}$ при токе нагрузки $0,5I_{ном}$	более 30°C
Изоляция жил кабелей всех типов	Мегомметр	Сопротивление изоляции, ток утечки	значения, свидетельствующие о коротком замыкании
Изоляция жил (кабели с БПИ)	Мегомметр Диэлектрич еская спектро- скопия / Установка IDA-200	Индекс поляризации PI	менее 1
		Процент содержания влаги W	более 3,5%
		Минимум $tg \delta$	более 0,01

Продолжение таблицы Т.1

Объект	Метод / Применяемое оборудование	Критерий	Значение критерия, определяющее состояние КЛ как неработоспособное
Изоляция жил (кабели с БПИ)	Измерение возвратного напряжения / Установка CDS	Отношение производных в начале кривых возвратного напряжения γ	более 1,5
		Максимальная величина возвратного напряжения U_{max}	меньше предельного значения ($U_{max}^{пред}$)
		Положение максимума возвратного напряжения на временной шкале t_{max}	меньше своей предельной величины ($t_{max}^{пред}$) для данной конфигурации кабеля
		Расположение кривых возвратного напряжения для двух циклов измерений.	а) кривые пересекаются; б) кривые сильно отличаются для разных жил в одном цикле измерений
		Отношение возвратных напряжений $k(t)$	больше значения своего предельного состояния $k(t)^{пред}$
Изоляция жил (кабели с СПЭ изоляция)	Анализ изотермического тока релаксации / Установка CDS	Форма кривой изотермического тока релаксации	в результате анализа формы кривой изотермического тока релаксации с использованием прикладного программного обеспечения состояние кабеля отнесено к области аварийного критического состояния изоляции (Critical )
Жила кабеля	Мульти- метр	Целостность жилы по всей длине кабеля	обрыв

Значения соответствуют предельной степени
старения изоляции

Окончание таблицы Т.1

Объект	Метод / Применяемое оборудование	Критерий	Значение критерия, определяющее состояние КЛ как неработоспособное
Изоляция жил (кабели с СПЭ изоляцией)	Измерение частичных разрядов / Установка OWTS	Максимальная величина ЧР в локальном месте q	более 10500 пКл для кабеля с СПЭ изоляцией
		Напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение) $U_{вчр}$	менее 3,2 кВ для 6 кВ кабелей менее 4,5 для 10 кВ кабелей
		Среднее кол-во ЧР в локальном месте за один цикл измер., N,штук/сек	Более 1,5
Изоляция жил (кабели с БПИ)	Измерение частичных разрядов / Установка OWTS	Максимальная величина ЧР в локальном месте q	более 15000 пКл для кабеля с БПИ
		Напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение) $U_{вчр}$	менее 3,2 кВ для 6 кВ кабелей менее 4,5 для 10 кВ кабелей
		Среднее кол-во ЧР в локальном месте за один цикл измер., N,штук/сек	Более 1,5

Библиография

- [1] Руководящий документ РАО ЕЭС России РД 34.45-51.300- 97 Объем и нормы испытаний электрооборудования.
- [2] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (Утверждены приказом Минэнерго России от 31 января 2003 г. № 6)
- [3] Руководящий документ Минэнерго России ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок
- [4] Правила устройства электроустановок. 7-е издание. (Утверждены приказом Министра энергетики России от 8 июля 2002 г № 204)
- [5] Руководящий документ Госгортехнадзора России РД 03-606-03 Инструкция по визуальному и измерительному контролю
- [6] Frank J.Wester "Condition Assessment of Power Cables using Partial Discharge Diagnosis at Damped AC Voltages", Ph.D. Thesis, Nuon NV, Delft University of Technology, The Netherlands, 2004

ОКС 29.060.01 29.060.20

Ключевые слова: кабельные линии среднего напряжения, пропитанная бумажная изоляция, изоляция из сшитого полиэтилена, частичные разряды, диэлектрическая спектроскопия, возвратное напряжение, техническое диагностирование.

Разработчики:**от ОАО «Газпром»**

Начальник отдела по эксплуатации
электротехнического оборудования



В.Г. Крайнов

Заместитель начальника отдела по
эксплуатации электротехнического
оборудования



А.А. Михель

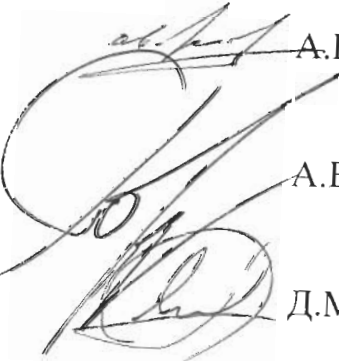
от ООО «Газпромэнергодиагностика»

Генеральный директор,
кандидат техн. наук



С.В. Власов

Главный инженер,
кандидат техн. наук



А.В. Авдонин

Начальник Управления диагностики
оборудования электрохозяйства

А.В. Портненко

Начальник отдела диагностики систем
постоянного тока и кабельных линий

Д.М. Левин

Инженер отдела диагностики систем
постоянного тока и кабельных линий



В.Ю. Ивасюк