

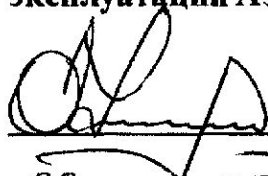


Приложение к приказу
ОАО «Концерн Росэнергоатом»
от 02.04.2015 № 9/341-11

Открытое акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической
и тепловой энергии на атомных станциях»

(ОАО Концерн «Росэнергоатом»)

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Генерального директора -
директор по производству и
эксплуатации АЭС


А.В. Шутиков
«20» 03 2015

**КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ 6-10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО
ПОЛИЭТИЛЕНА**

Методические рекомендации

МР 1.2.1.13.1005-2015

Б Н Т И

НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Федеральным государственным унитарным предприятием "Научно-исследовательский институт приборов" и Технологическим филиалом ОАО «Концерн Росэнергоатом»

2 ВНЕСЕНЫ Департаментом инженерной поддержки

3 ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ приказом ОАО «Концерн
 № 9/341-17 от 02.04.2015 Росэнергоатом"

4 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

СОДЕРЖАНИЕ

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки.....	1
3	Термины и определение.....	2
4	Обозначения и сокращения.....	4
5	Основные положения.....	4
	5.1 Общие подходы к диагностированию.....	4
	5.2 Основные типы дефектов в силовых кабелях с СПЭ изоляцией.....	5
	5.3 Регистрация частичных разрядов на осциллирующем затухающем напряжении.....	6
	5.4 Показатели состояния СПЭ изоляции, определяемые при измерении изотермического тока релаксации.....	8
6	Определение и прогнозирование технического состояния кабелей	11
7	Требования к отчётной и рабочей документации.....	15
8	Организация работ по программе.....	16
9	Обоснование безопасности.....	16
10	Меры техники безопасности.....	16
	Приложение А (рекомендуемое) Протокол технического диагностирования силового кабеля с СПЭ изоляцией.....	17
	Библиография.....	21

КОМПЛЕКСНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ 6-10 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Дата введения 01.06.2015

1 Область применения

1.1 Настоящие методические рекомендации (далее МР) распространяются на силовые кабели со сшитой полиэтиленовой изоляцией (СПЭ) напряжением 6 кВ и 10 кВ.

1.2 МР предназначены для определения и прогнозирования технического состояния силовых кабелей с СПЭ изоляцией на основе измерения изотермического тока релаксации (ИТР) и параметров частичных разрядов, регистрируемых на осциллирующем затухающем напряжении.

2 Нормативные ссылки

В настоящих МР использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения

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

ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности

ПО 1.2.1.02.999.0184-2013 Определение технического состояния и управление старением кабелей на атомных станциях. Положение

РД 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования

МР 1.2.1.13.0018-2011 Методические рекомендации по диагностике дефектов в контрольных кабелях атомных станций

ТПРГ 1.2.6.9. 0072-2011 Типовая программа диагностики кабельных линий на атомных станциях. Требования и рекомендации к разработке и выполнению.

3 Термины и определения

В МР применены термины по НП-001-97 (ОПБ-88/97), ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911 и ГОСТ 27.003, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 алгоритм технического диагностирования (контроля технического состояния): Совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования (контроля).

3.2 диагностирование (техническое диагностирование): Определение технического состояния объектов.

3.3 диагностическое обеспечение: Комплекс взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

3.4 доминирующий механизм старения: Механизм накопления необратимых неблагоприятных изменений в конструкционных материалах и составных частях элемента, вносящий основной (доминирующий) вклад в процесс старения.

3.5 контроль технического состояния: Проверка соответствия значений параметра объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

Примечание - Видами технического состояния являются, например, исправное, работоспособное, неисправное, неработоспособное и т.д. В зависимости от значений параметров в данный момент времени.

3.6 критерий предельного состояния: Признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

3.7 неработоспособное состояние: Состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.8 полнота технического диагностирования (контроля технического состояния): Характеристика, определяющая возможность выявления отказов

(неисправностей) в объекте при выбранном методе его диагностирования (контроля).

3.9 прогнозирование технического состояния: Определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Примечание - Целью прогнозирования технического состояния может быть определение с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), в течение которого сохранится работоспособное (исправное) состояние объекта и вероятности сохранения работоспособного (исправного) состояния объекта на заданный интервал времени.

3.10 работоспособное состояние: Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.11 предельное состояние: Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

3.12 продолжительность технического диагностирования (контроля технического состояния): Интервал времени, необходимый для проведения диагностирования (контроля) объекта.

3.13 система технического диагностирования (контроля технического состояния): Совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации.

3.14 средство технического диагностирования (контроля технического состояния): Аппаратура и программы, с помощью которых осуществляется диагностирование (контроль).

4 Обозначения и сокращения

АЭС	—	атомные электрические станции
АЦП	—	амплитудно-цифровой преобразователь
ИТР	—	изотермический ток релаксации
СПЭ	—	сшитый полиэтилен

МР	—	методические рекомендации
ППР	—	плановый предупредительный ремонт
ПС	—	показатель состояния
ТОиР	—	техническое обслуживание и ремонт
ЧР	—	частичные разряды
K_a	—	коэффициент абсорбции
PI	—	индекс поляризации
R	—	сопротивление изоляции
OWTS	—	метод регистрации частичных разрядов на затухающем осциллирующем напряжении

5 Основные положения

5.1 Общие подходы к диагностированию

5.1.1 В настоящих МР принят следующий алгоритм технического диагностирования силовых кабелей с СПЭ изоляцией:

- проведение технического осмотра кабельных трасс;
- измерение сопротивления изоляции для выявления предельных дефектов омического типа;
- использование рефлектометрии для выявления возможных неоднородностей кабельных трасс и фактической длины кабеля;
- измерение параметров частичных разрядов методом OWTS;
- измерение ИТР;
- анализ экспериментальных данных;
- подготовка заключения и о техническом состоянии.

5.1.2 Составной частью технического осмотра являются: визуальный и тактильный осмотр доступных частей кабельных трасс, тепловизионный контроль, опрос персонала, анализ оперативной эксплуатационной документации. Технический осмотр проводится в соответствии с рекомендациями ПО 1.2.1.02.999.0184, при проведении тепловизионного контроля следует руководствоваться РД 34.45-51.300.

5.1.3 Сопротивление изоляции кабеля Измеряют между жилой и экраном цифровым мегомметром на 2500 В в течение 10 минут с интервалом 5 с. Сопротивление изоляции должны быть не менее 100 Мом на 1000 м[1, 2] через 1 минуту после подачи напряжения.

5.1.4 Рефлектометрия проводится в соответствии с рекомендациями МР 1.2.1.13.0018. При наличии средств технического диагностирования проводят как пространственно-временную, так и частотную виды рефлектометрии кабельной линии.

5.2 Основные типы дефектов в силовых кабелях с СПЭ изоляцией

5.2.1 Основные типы дефектов, диагностика которых предусмотрена в данными МР:

– это дефекты в объеме изоляции, появление которых обусловлено старением из-за наличия повышенной температуры, электрического поля, влаги из атмосферного воздуха, механических повреждений при прокладке кабелей, включений в изоляции из-за несоблюдения технологии изготовления кабеля (см.рисунок 1);

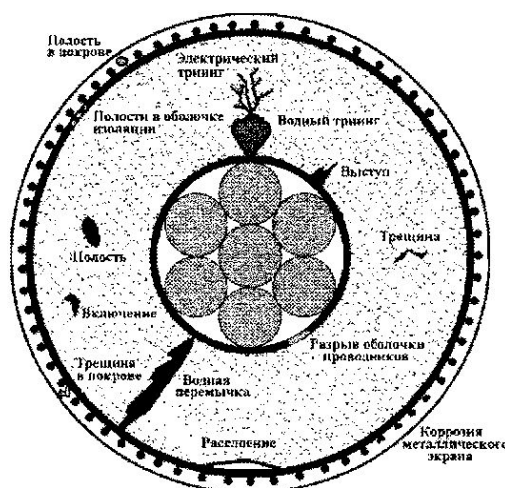


Рисунок 1 – Возможные дефекты в силовом кабеле со сшитой полиэтиленовой изоляцией

– дефекты, появление которых обусловлено наличием повреждений как изоляции, так и элементов кабельных линий, вызванных в процессе монтажа и ее ремонта, в том числе в концевых и соединительных муфтах (см. рисунок 2).

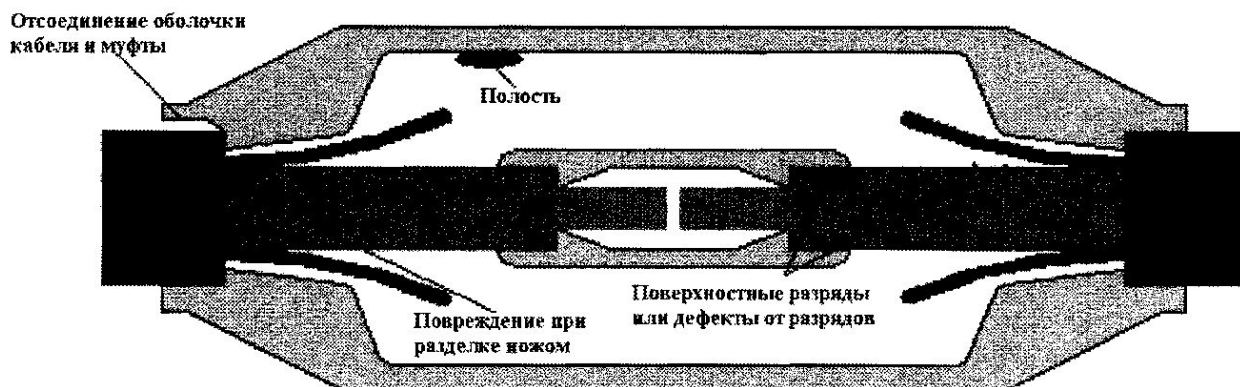


Рисунок 2 – Типичные дефекты в соединительной муфте

5.2.2 В настоящих МР принято, что дефекты старения в объеме изоляции имеют определенное зарядовое состояние и им соответствуют ловушки с определенным энергетическим уровнем в верхней половине запрещенной зоны диэлектрика.

5.3 Регистрация частичных разрядов на осциллирующем затухающем напряжении

5.3.1 Метод OWTS позволяет определить:

- распределение и величину ЧР по длине линии;
- количество ЧР в проблемных местах;
- зависимость уровня ЧР от напряжения;
- напряжение возникновения ЧР;
- напряжение гашения ЧР;
- тангенс угла диэлектрических потерь;
- электрическую емкость.

Из указанных возможностей метода, в качестве основных являются:

1) определение распределения и величины частичных разрядов Q_m по длине линии;

2) определение количества ЧР в проблемных местах:

3) определение напряжения возникновения ЧР.

5.3.2 В методе OWTS, изложенном в [3], синусоидальное осциллирующее напряжение возникает при разряде заряженного кабеля емкостью C_x на штатную индуктивность L . Собственная частота колебательного контура $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_x}}$ (см. рисунок 3, где R_3 – зарядное сопротивление; L – катушка индуктивности; R_L – активное сопротивление обмотки катушки индуктивности; K – высоковольтный ключ; ИЧР – измеритель частичных разрядов).

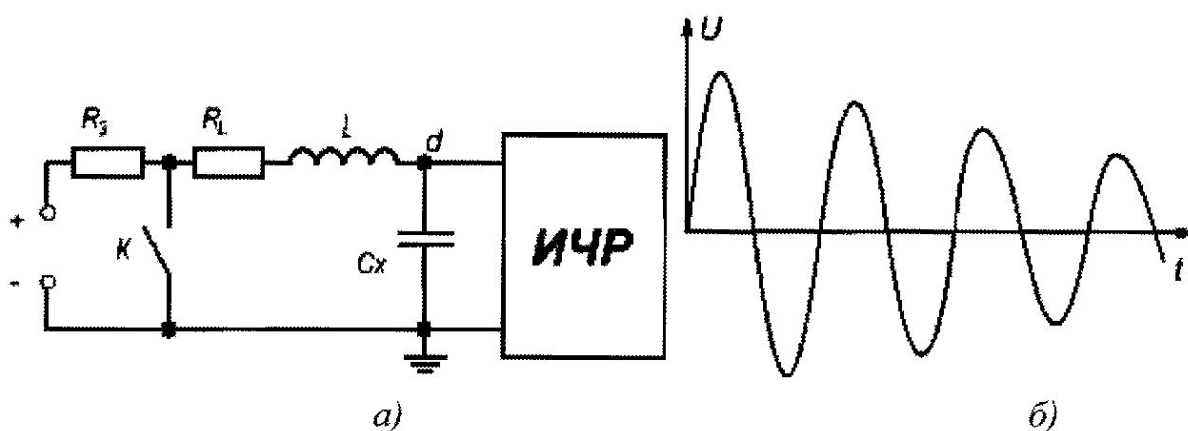


Рисунок 3 - Определение частичных разрядов в изоляции методом измерения частичных разрядов с затухающим осциллирующим напряжением:

а) схема измерения; б) напряжение в точке d

5.3.3 Синусоидальные колебания затухают за счет диэлектрических потерь в изоляции и за счет выделения энергии на активном сопротивлении катушки (~ 20 Ом). Величина тока в колебательном контуре определяется активным сопротивлением цепи, так как колебания происходят на резонансной частоте.

5.3.4 Применение установки OWTS предполагает отключение кабеля. Установка генерирует в кабеле синусоидальное осциллирующее напряжение с частотой от 100 до 1000 Гц, в зависимости от емкости кабеля.

5.3.5 Принципиальная схема локации частичных разрядов системой OWTS представлена на рисунке 4. К выходу системы подключается тестируемый кабель, делитель и детектор частичных разрядов, сигналы с которого через блок АЦП поступают в компьютер. Перед началом испытаний в течение нескольких секунд

кабель заряжается от высоковольтного источника постоянного напряжения. После этого автоматически замыкается быстродействующий ключ и в контуре (индуктивность, активное сопротивление кабеля, емкость кабеля) возникает затухающее переменное напряжение синусоидальной формы.

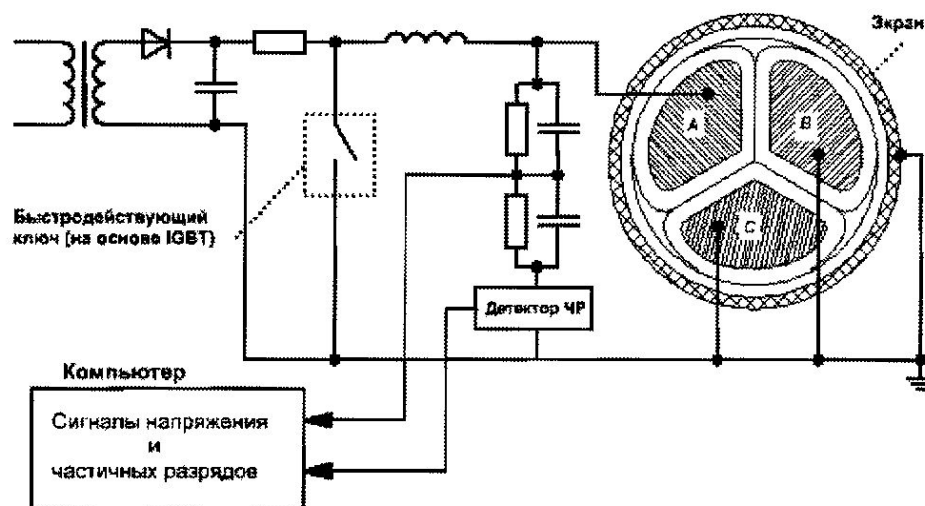


Рисунок 4 – Принципиальная схема локации частичных разрядов системой OWTS

5.3.6 Основными характеристиками при работе с системами типа OWTS являются кажущийся заряд или импульс ЧР, интегральный уровень ЧР, напряжение возникновения ЧР и расстояние до места возникновения ЧР. Максимальное напряжение заряда кабеля U_z обычно не превышает $1,7 \cdot U_{\text{раб}}$ рабочего значения в максимуме амплитуды.

5.3.7 Рекомендуется проводить испытания каждой жилы пятикратно с обеих сторон кабельной линии, напряжение возникновения ЧР измеряется однократно с двух сторон для каждой жилы.

5.4 Показатели состояния СПЭ изоляции, определяемые при измерении изотермического тока релаксации

5.4.1 Кривая тока релаксации I_{relax} описывается традиционно моделью [4, 5]:

$$I_{\text{relax}} = I_0 + \sum_{i=1}^n I_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad (1)$$

где I_0 - установившийся ток проводимости; I_i и τ_i – интенсивность и время жизни i -ой компоненты тока релаксации. Измерение ИТР для кабелей рекомендуется

проводить на серийно выпускаемых приборах. В настоящее время на рынке представлено два известных прибора: AC-Tester (компания "Димрус"), CDS (компания "SebaRMT").

5.4.2 Оценка состояния изоляции обмотки статора должна проводиться на основе периодического контроля величин I_0 , I_i , τ_i и параметрами кривой распределенного заряда, которая представляет собой зависимость " $I_{relax} \cdot t - \log(t)$ ".

Под воздействием электрического поля при постоянной температуре можно в диэлектрике возникает ток деполяризации I_d , который монотонно убывает со временем. Данный ток определяется дефектами в объеме диэлектрика, которые имеют дискретный набор энергетических уровней, расположенных выше уровней Ферми. В этом случае выполняется соотношение между энергией ΔE , необходимой для переноса захваченного в ловушке электрона с энергетическим уровнем E_{Tr} до нижнего края зоны проводимости E_C , и временем t .

$$\Delta E = E_C - E_{Tr} = kT \ln vt, \quad (2)$$

где: k – постоянная Больцмана,

T – температура,

v – вероятность вылета электрона (10^{11} с^{-1}).

Общее решение для изотермического тока релаксации представляет собой

$$I_{relax} = \frac{qLkT}{2t} f_0(E)N(E), \quad (3)$$

где: q – заряд,

L – толщина диэлектрика (изоляции),

$f_0(E)$ – начальная заселенность ловушек электронами в запрещенной зоне по энергии,

$N(E)$ – плотность ловушек.

Из уравнения (3) можно получить

$$f_0(E)N(E_{Tr}) = \frac{2}{qLkT} I_{relax} t, \quad (4)$$

где ток I_{relax} в (4) представляет собой

$$I_{relax} = I_0 + \sum_{i=1}^3 a_i e^{-\frac{t}{\tau_i}}, \quad (5)$$

где параметры a_i и τ_i определяются свойствами материала. Постоянную времени τ_3 связывают с объемными дефектами в полимере. Из (4) и (5) следует, что

$$f_0(E)N(E_{Tr}) = \frac{2}{qLKT} t \left[I_0 + \sum_{i=1}^3 a_i e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right]. \quad (6)$$

Из (2) следует, что

$$E_{Tr} = E_c - kT \ln vt. \quad (7)$$

Следовательно, зависимость " $I_{relax}t - \log_{10}t$ " описывает энергетическое распределение заселенных электронами ловушки в верхней половине запрещенной зоны диэлектрика. Для определения параметров ловушек в изоляции мы можем построить зависимости " $N(E) - (E_c - E)$ " или " $I_{relax}t - \log_{10}t$ ". Последнее широко используется для анализа состояния изоляции.

5.4.3 Для количественной оценки состояния изоляции силовых кабелей с СПЭ вводится показатель состояния (старения) AI . Этот ПС рассчитывается из тока поляризации I_d соответствующего временным константам τ_2 и τ_3 как

$$AI = \frac{I_d(\tau_3)\tau_3}{I_d(\tau_2)\tau_2}. \quad (8)$$

AI показатель может быть рассчитан из параметров кривой тока релаксации a_i и τ_i

$$AI = \frac{Q(\tau_3)}{Q(\tau_2)}, \quad (9)$$

где

$$Q(\tau_2) \approx a_1\tau_1 + a_2\tau_2\left(1 - \frac{1}{e}\right) + a_3\tau_3\left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_3}}\right) \quad \text{и} \quad (10)$$

$$Q(\tau_3) \approx a_1 \tau_1 + a_2 \tau_2 \left(1 - e^{-\frac{\tau_3}{\tau_2}} \right) + a_3 \tau_3 \left(1 - \frac{1}{e} \right). \quad (11)$$

Считают, что a_1 и τ_1 — определяются типом полиэтиленовой изоляции, a_2 и τ_2 — зарядом, захваченным дефектами на границе изоляции и полупроводящего слоя изоляции, a_3 и τ_3 — зарядом, захваченным дефектами в объеме изоляции (см. рисунок 5).

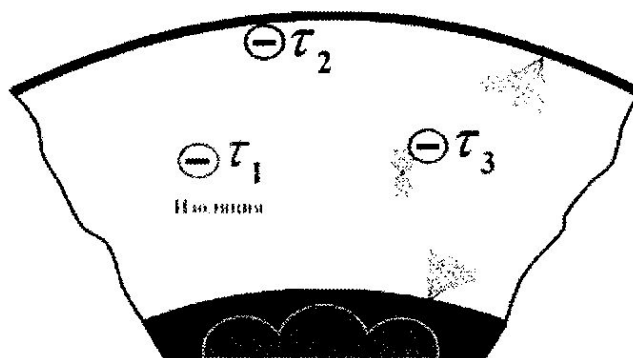


Рисунок 5 – Модельное представление соответствия постоянных времени изотермического тока релаксации для полиэтиленовой изоляции

6 Определение и прогнозирование технического состояния кабелей

6.1 Для выявления признаков предельного состояния кабеля и локации дефектов изоляции кабельных заделок и кабельных муфт, дефектов монтажа кабеля и старения изоляции, которые являются источниками электромагнитной активности, следуют использовать критерии, представленные в ТПРГ 1.2.6.9.0072 (см. таблицу 1). Эти критерии имеют рекомендательных характер, их основная цель — определить по интенсивности и местонахождению источника электромагнитной активности наличие дефектов с явными признаками предельного состояния.

Примечание - Каждому уровню состояния в соответствии ТПРГ 1.2.6.9.0072 соответствует как численное значение показателя состояния, так и определенный цвет. Такой подход существенно упрощает анализ экспериментальных данных, проводимый одновременно на выборке диагностируемых кабелей. Для состояния "работоспособное без отклонения" определен светло-зеленый цвет, для состояния "работоспособное с отклонениями" — светло-желтый, для состояния "работоспособное ухудшенное" — светло-сиреневый, для состояния "неработоспособное" — сиреневый.

Т а б л и ц а 1 – Оценка состояния силовых кабелей среднего напряжения с СПЭ изоляцией методом OWTS по уровню электрических разрядов

Уровень частичных разрядов, пКл	Состояние кабельной линии	Рекомендации по контролю и техническому обслуживанию
От 0 до 250	Работоспособное без отклонений	Техническое обслуживание проводить согласно эксплуатационным документам
От 250 до 350	Работоспособное с отклонениями, возможно появление развитых дефектов из-за деградации изоляции	Повторный контроль в течение двух лет
От 350 до 500	Работоспособное ухудшенное, высокий риск появления развитых дефектов из-за деградации изоляции	Ежегодный контроль
Более 500	Неработоспособное (кабельная линия подлежит предельному контролю)	Ремонт кабельной линии

6.2 Оценка состояния силовых кабелей с изоляцией СПЭ напряжением 6 - 10 кВ проводится методом ИТР по критериям для показателя состояния AI (8), представленным в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Критерии оценки степени старения СПЭ для силовых кабелей среднего напряжения

Показатель состояния (старения) изоляции, AI	Степень старения сшитой полиэтиленовой изоляции	Состояние кабеля
Меньше чем 1,75	Старение изоляции отсутствует	Работоспособное без отклонений
Между 1,75 и 1,90	Средняя степень старения	Работоспособное с отклонением
Между 1,90 и 2,10	Сильная степень старения	Работоспособное ухудшенное
Более чем 2,10	Дополнительная степень старения	Неработоспособное (кабельная линия подлежит предельному контролю)

6.3 Алгоритм проведения работ по методическим рекомендациям представлен на рисунке 6. На первом этапе работ анализируется история эксплуатации кабельной линии для выявления возможных "горячих точек" эксплуатации, включая результаты периодического тепловизионного контроля, выявления возможных непроектных воздействий, наличие каких-либо электрических неисправностей. На втором этапе по результатам рефлектометрии, измерению сопротивления изоляции и параметров ЧР методом OWTS определяется наличие признаков предельного состояния кабельной линии как вследствие возможных повреждений при монтаже и проведении других работ, так и вследствие интенсивного старения кабелей в "горячих точках" кабельных трасс. При отсутствии признаков предельного состояния на третьем этапе работ по показателю AI определяется степень старения СПЭ и срок службы кабеля. Для определения срока службы необходимо заранее определить значение показателя AI , соответствующее не состаренному кабелю.

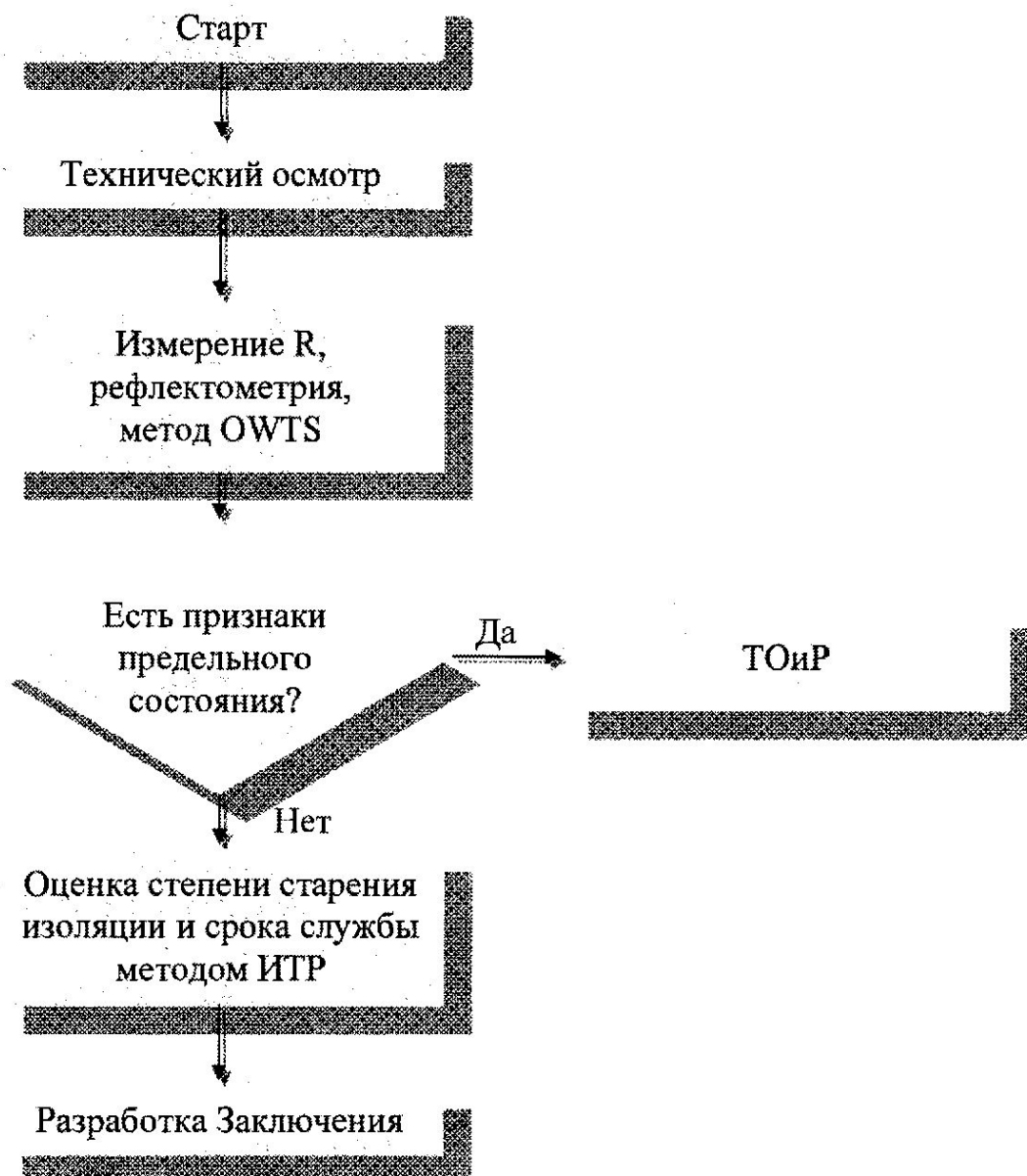


Рисунок 6 – Алгоритм проведения работ по методическим рекомендациям

6.4 Оценка срока службы проводится по модели

$$\tau_{\text{срок_службы}} = \tau_{\partial} \cdot \frac{AI_{\text{пред}} - AI_{\partial}}{AI_{\partial} - AI_0}, \quad (12)$$

где τ_{∂} – срок службы кабеля на момент диагностирования в годах,

$AI_{\text{пред}}$ – предельное значение ПС,

AI_0 – начальное значение ПС,

AI_0 – значение ПС на момент диагностики.

В качестве $AI_{пред}$ выбирается величина 2,1 (см. таблицу 2). AI_0 определяется заранее опытным путем для каждой марки кабеля. ВНИМАНИЕ! Из-за наличия в изоляции новых кабелей радикалов, обусловленных технологией его изготовления, перед определением AI_0 следует провести их "отжиг" при температуре 75°C в течение 300 часов, либо использовать кабели после многомесячной эксплуатации при отсутствии у них повреждений, вызванных не проектными внешними воздействиями.

6.5 Первичную диагностику состояния силовых кабелей методом ИТР рекомендуется проводить через один год после монтажа и эксплуатации кабеля. Повторную диагностику – по техническому состоянию, руководствуясь критериями из таблицы 2 и расчетному сроку службы по формуле (12). При отсутствии данных о величине AI_0 повторное техническое диагностирование следует провести через 5 – 6 лет. При повторном диагностировании для вхождения в формулу (12) в качестве AI_0 и τ_d можно использовать величину AI_0 , полученную при первичной диагностики, и период времени между первой и повторной диагностикой, соответственно.

6.6 Результаты технического диагностирования оформляются протоколом. Форма рекомендуемого протокола представлена в приложении А.

7 Требования к отчётной и рабочей документации

7.1 Результаты технического диагностирования оформляются в виде протокола в соответствии с ГОСТ 7.32-2001.

7.2 Список рекомендуемой отчетной документации по работам в рамках настоящих МР представлен в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Перечень отчётной документации

Вид работ	Наименование документа
Диагностика технического состояния и оценка остаточного срока службы силового кабеля(ей) с СПЭ	1 Протокол(ы)оценки технического состояния
Заключение о кабельных линиях, изготовленных из силовых кабелей с СПЭ на блоке АЭС	2 Заключение 3 Проект решения

8 Организация работ по программе

8.1 Организация, планирование и выполнение работ по диагностике состояния кабелей проводится под руководством начальника ЭЦ.

8.2 Работы по контролю состояния кабелей проводит бригада, которая включает в себя специалистов ЭЦ и специализированной организации.

8.3 Специалистами ЭЦ разрабатывается детальный график проведения диагностических работ с привязкой к графику работы энергоблока и к графикам ремонтов его элементов.

9 Обоснование безопасности

Работы по настоящим МР с использованием неразрушающих методов контроля состояния силовых кабелей с СПЭ проводятся на остановленном расхоленном энергоблоке при проведении ППР, либо при отключенном электрооборудовании и не влияют на ядерную безопасность.

10 Меры техники безопасности

Работы по контролю технического состояния ЭД проводятся с применением средств индивидуальной защиты, с соблюдением действующих на АЭС инструкций и правил радиационной безопасности, правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Образец оформления протокола технического диагностирования силового кабеля с СПЭ изоляцией

1. Исходные данные

Назначение кабельной линии: питание электродвигателя НА-6.

Дата контроля состояния: 04.08.2014-22.08.2014.

Т а б л и ц а 1 - Идентификационные данные кабеля

Наименование присоединения:	НА-6
Станция:	ЛАЭС
Блок	2
Класс и обозначение по ОПБ-88	3Н
Секция КРУ	4РНА
Ячейка	483
Трассировка	-
Номинальное напряжение, кВ	6
Марка кабеля	АПВВнг(А)-LS - 4х70
Год прокладки	2005
Длина, м	258 (оценка по рефлектометру)

Т а б л и ц а 2 - Условия и режимы эксплуатации

Основные внешние воздействующие факторы	окружающая температура, пары масла, влажность, вибрация от электрооборудования
Температура окружающей среды в местах прокладки, °С	25 – 60 (по проекту) 40 (фактическая в летнее время)
Влажность при проведении измерений (КРУ-6 кВ, сек.4РНА), %	60
Температура окружающей среды при проведении измерений (КРУ-6 кВ, сек.4РНА), °С	24

2. Экспериментальные данные

2.1 Рефлектометрия кабельных линий

Рефлектометр: DigiflexCOM фирмы Hagenuk KMT

Рефлектограмма кабеля (жила – земля) приведена на рисунке 1, рефлектограмма кабеля (жила – жила) приведена на рисунке 2, выявленные неоднородности представлены в таблице 3.

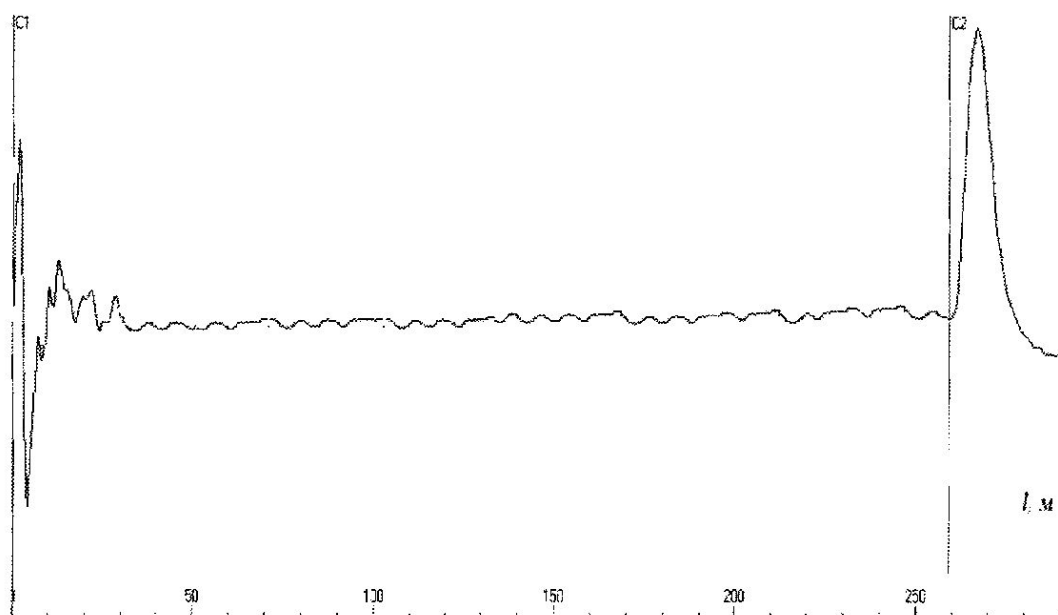


Рисунок 1 - Рефлектограмма кабеля НА-6 (жила – земля)

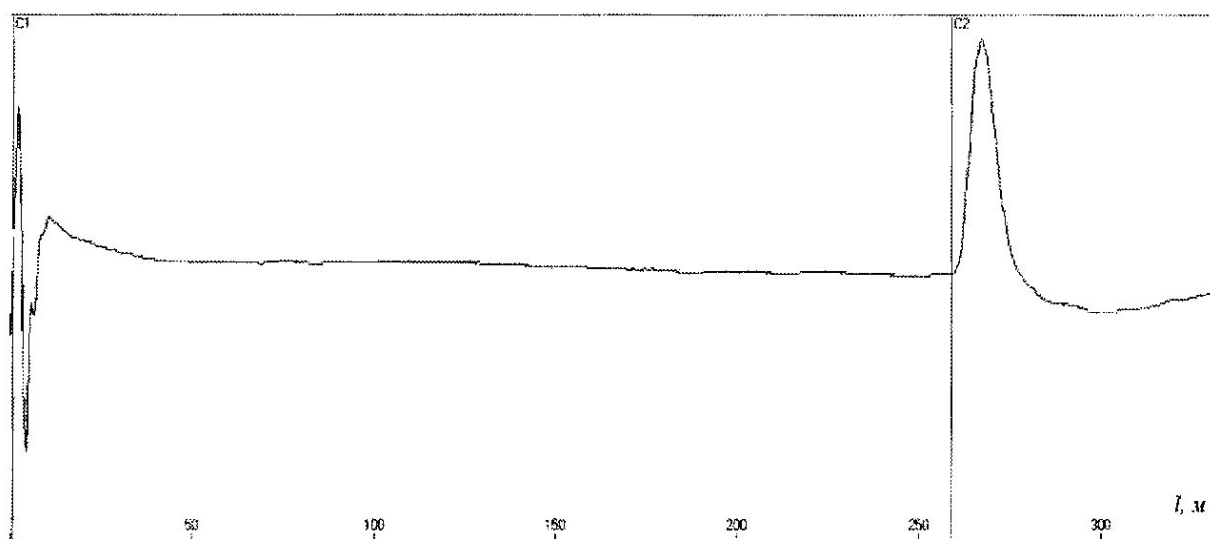


Рисунок 2 - Рефлектограмма кабеля НА-6 (жила – жила)

Оценка состояния по результатам рефлектометрии: длина кабельной линии составляет 258 м. На данной кабельной линии дефектов и неоднородностей не обнаружено.

2.2 Результаты измерения электрических характеристик кабеля

Установка: мегомметр S1-5005. Измеренные сопротивления изоляции кабеля приведены в таблице 3, расчетные значения коэффициента абсорбции и индекса поляризации - в таблицах 4 и 5.

Т а б л и ц а 3 –Сопровитвления изоляции кабеля R, МОм

Фаза	U, В	$R_{15}'', \text{МОм}$	$R_1', \text{МОм}$	$R_{10}', \text{МОм}$	$R_1', \text{МОм}$ на км
А	2500	3,42E+03	2,08E+04	3,16E+05	5366,40
В	2500	3,59E+03	2,23E+04	3,46E+05	5753,40
С	2500	3,52E+03	2,14E+04	3,97E+05	5521,20

Т а б л и ц а 4 - Значения коэффициента абсорбции ($K_{\text{абс}}$)

Фаза	Коэффициент абсорбции, $K_{\text{абс}}$	Оценка состояния по результатам расчета
А	6,1	Норма
В	6,2	Норма
С	6,3	Норма

Т а б л и ц а 5 – Значения индекса поляризации (PI)

Фаза	Индекс поляризации, PI	Оценка состояния по результатам расчета
А	15,2	Норма
В	15,5	Норма
С	18,6	Норма

2.3 Результаты оценки состояния по методу OWTS

Установка: CPDA 30 фирмы "Димрус".

Частичные разряды не зарегистрированы при зарядовом напряжении до 10 кВ.

2.4 Результаты оценки состояния по методу контроля тока релаксации

Установка: AC-Tester фирмы "Димрус". Кривая ИТР представлена на рисунке 3.

Параметры кривой ИТР представлены в таблице 6.

Т а б л и ц а 6 - Параметры ИТР

$I_1, \text{нА}$	$\tau_1, \text{с}$	$I_2, \text{нА}$	$\tau_2, \text{с}$	$I_3, \text{нА}$	$\tau_3, \text{с}$	$I_0, \text{нА}$
604,3	4,1	426,6	18,8	87,4	121,5	0

Расчетная кривая распределенного заряда " $I \cdot t - t$ " представлена также на рисунке 5.

Расчет показателя состояния: $Q(\tau_2) = 9045,8$; $Q(\tau_3) = 17174,8$; $AI = 1,90$. Таким образом, состояние кабеля следует классифицировать как "работоспособное с отклонениями".

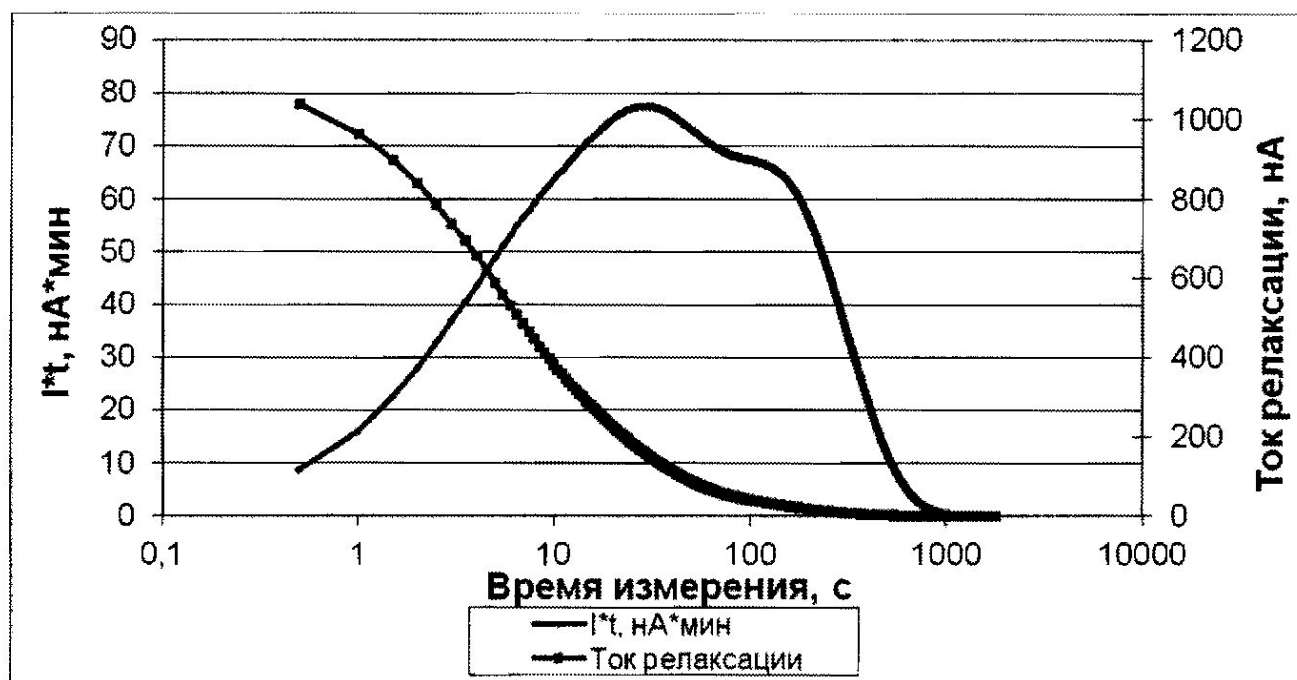


Рисунок 3 – Изотермический ток релаксации и кривая распределенного заряда кабеля НА-6

3. Оценка остаточного срока службы

$$\tau_{\text{срок_службы}} = \tau_0 \cdot \frac{AI_{\text{пред}} - AI_0}{AI_0 - AI_0} = 8 \cdot \frac{2,1 - 1,9}{1,9 - 1,5} = 4 \text{ года}$$

4. Выводы

4.1 Состояние кабеля соответствует "работоспособному с отклонениями", степень старения СПЭ изоляции – средняя.

4.2 Состояние кабеля, по-видимому, определяется старением изоляции на концевых участках под воздействием эксплуатационных факторов и некачественно выполненных концевых заделок.

4.3 Остаточный срок службы составляет 4 года.

4.4 Следующую оценку состояния следует провести через 3 года, т.е. до 31 декабря 2017 года.

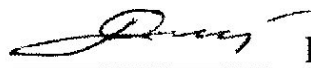
Библиография

- | | |
|---|--|
| [1] ТУ 16.К71-335-2003 | "Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6 -10 кВ" |
| [2] ТУ 16.К71-343-2004 | "Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена не распространяющие горение на напряжение 6 -10 кВ" |
| [3] ЭЛЕКТРО, №2, 2010. С.35-39 | Авдонин А.В., Левин Д.М., Ивасюк В.Ю., Михель А.А. «Критерии для диагностики кабельных линий методом OWTS» |
| [4] 1-4244-0493-2/06/\$20.00 ©2006 IEEE | Bolarin S. Oyegoke, FrithFoottit, David Birtwhistle, Jim Lyall and Prasanna B. Wickramasuriya. "Condition Assessment of XLPE Insulated Cables Using Isothermal Relaxation Current Technique" |
| [5] 17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona, 12-15 May 2003, Session 1 Paper No 79 | Jae-Bong LEE, Dong-Myung KIM, Ju-Yong KIM, Korea Electric Power Co. "Condition assessment of field installed underground distribution cables" |

Лист визирования

МР 1.2.1.13.1005-2015 «Комплексная диагностика технического состояния силовых кабелей 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Методические рекомендации»

Заместитель директора по науке
ФГУП "НИИП"


В.Н. Улимов

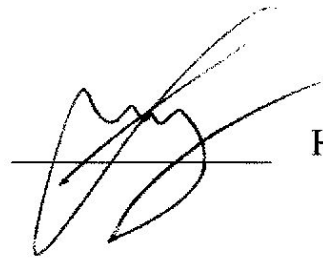
Начальник управления диагностики и
испытаний и испытаний
электротехнических элементов АС и
ЯУ ФГУП "НИИП", разработчик
методических рекомендаций


А.И. Кононенко

Лист согласования

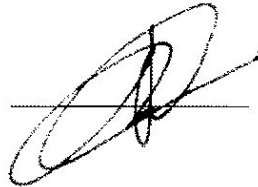
МР 1.2.1.13.1005-2015 «Комплексная диагностика технического состояния силовых кабелей 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Методические рекомендации»

Заместитель директора по
производству и эксплуатации АЭС-
директор Департамента инженерной
поддержки



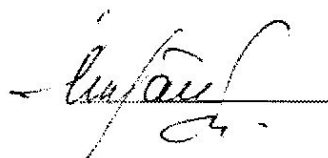
Ю.П. Тетерин

Заместитель директора Департамента
инженерной поддержки



Р.М. Султанов

Нормоконтролер



М.А. Михайлова