ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58341.5— 2020

КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» (АО «Концерн Росэнергоатом»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 322 «Атомная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2020 г. № 1405-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 2
5 Установление ресурсных характеристик, учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса кабельных изделий 3
6 Выполнение мероприятий по оценке технического состояния и управлению ресурсом кабельных изделий 5
7 Составление перечня кабельных изделий для контроля ресурсных характеристик 8
8 Технический осмотр кабельных изделий 10
9 Классификация текущего статуса кабельных изделий в эксплуатации 11
10 Мониторинг условий эксплуатации кабельных изделий 12
11 Определение показателей состояния. Общие положения 12
12 Типовые показатели состояния, основанные на измерении физико-химических свойств кабельных полимерных материалов 15
13 Техническое диагностирование силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией 16
14 Техническое диагностирование силовых кабелей с пластмассовой изоляцией среднего напряжения 17
15 Оценка остаточного ресурса кабелей с учетом устойчивости к внешним воздействующим факторам проектных аварий 19
16 Базы данных для обеспечения управления ресурсом кабельных изделий 23
17 Особенности оценки остаточного ресурса электрических соединителей, кабельных муфт и проходок 23
Приложение А (рекомендуемое) Типовые мероприятия при проведении технического осмотра кабельных трасс 25
Приложение Б (рекомендуемое) Классификация силовых кабелей в эксплуатации по техническому состоянию 27
Приложение В (рекомендуемое) Показатели состояния кабелей, определяемые при измерении восстановленного напряжения 28
Приложение Г (рекомендуемое) Определение показателя состояния изоляции из сшитого полиэтилена по результатам измерения изотермического тока релаксации 29
Приложение Д (рекомендуемое) Объекты базы данных для информационного обеспечения управления ресурсом кабельных изделий 31
Библиография 34

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса

Cable items for nuclear power plants.
Accounting of actually worked out and assessment of residual resource

Дата введения — 2021—02—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к учету фактически выработанного ресурса и оценке остаточного ресурса кабельных изделий, в том числе распространяется на низковольтные кабели и провода напряжением не выше 1000 В, силовые кабели напряжением 6 и 10 кВ, а также на электрические соединители, кабельные муфты и проходки (гермопроходки) атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами, реакторами большой мощности канальными, энергетическими гетерогенными петлевыми реакторами, реакторами на быстрых нейтронах и водо-водяными реакторами плавучей атомной теплоэлектростанции.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения в составе комплекса стандартов «Учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса» при эксплуатации блоков атомной станции, в том числе при подготовке к выводу из эксплуатации и при продлении срока эксплуатации блоков атомных станций.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 15845-80 Изделия кабельные. Термины и определения

ГОСТ 31565 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности

ГОСТ 31996 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия

ГОСТ Р 55025 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия

ГОСТ Р 58341.1 Элемент блока атомной станции. Порядок управления ресурсом

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения. Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **восстановленное напряжение:** Напряжение на отсоединенном и предварительно заряженном кабеле, измеряемое после разряда его геометрической емкости.

3.2 **изотермический ток релаксации:** Разрядный ток на отсоединенном и предварительно заряженном кабеле, обусловленный релаксационной поляризацией.

3.3

кабельное изделие: Электрическое изделие, предназначенное для передачи по нему электрической энергии, электрических сигналов информации или служащее для изготовления обмоток электрических устройств, отличающееся гибкостью

[ГОСТ 15845—80, статья 1]

3.4 **показатель состояния кабелей и проводов:** Характеристика, которая может быть наблюдаема, измерена или аппроксимирована, чтобы сделать заключение или непосредственно указать текущую и прогнозируемую в будущем способность кабелей и проводов функционировать в пределах принятых критериев.

3.5 **представительные кабели и провода:** Кабели и провода, которые полностью характеризуют старение группы однотипных кабелей и проводов с одинаковыми условиями монтажа, одинаковыми внешними воздействующими факторами на всех участках трасс и одинаковыми режимами эксплуатации.

3.6 **ресурсные характеристики кабелей и проводов:** Количественные значения показателей состояния кабелей и проводов, определяемые по результатам испытаний и технического диагностирования.

3.7 **траектория старения кабелей (проводов):** Множество количественных значений показателей состояния кабелей (проводов) в эксплуатации от начального до предельного состояний включительно.

3.8

электрический кабель (кабель): Кабельное изделие, содержащее одну или более изолированных жил (проводников), заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров, в который может входить броня, и пригодное, в частности, для прокладки в земле и под водой.

[ГОСТ 15845—80, статья 2]

3.9

электрический провод (провод): Кабельное изделие, содержащее одну или несколько скрученных проволок или одну или более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься легкая неметаллическая оболочка, обмотка и (или) оплетка из волокнистых материалов или проволоки, и не предназначенное, как правило, для прокладки в земле.

[ГОСТ 15845—80, статья 3]

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АС — атомная станция;

ВВФ — внешние воздействующие факторы;

ВН — восстановленное напряжение;

ВИ (ВОИ) — время индукции (время окислительной индукции);

ДСК — дифференциальная сканирующая калориметрия;

ИК — инфракрасный;

ИТР — изотермический ток релаксации;

КЛ — кабельная линия;

НПВО — нарушенное полное внутреннее отражение;

ОЗС — огнезащитный состав;

ОУР — относительное удлинение при разрыве;

ПБИ — пропитанная бумажная изоляция;

ПВХ — поливинилхлорид;

ПМ — полимерные материалы;

ППР — планово-предупредительный ремонт;

ПС — показатель состояния;

ПТФЭ — политетрафторэтилен;

ПУР — программа управления ресурсом;

СБ — система безопасности;

СВБ — система нормальной эксплуатации, важная для безопасности;

ПИ — пластмассовая изоляция;

ТМА — термомеханический анализ;

ТНО (ТОИ) — температура начала окисления (температура окислительной индукции);

ТОиР — техническое обслуживание и ремонт;

ТУ — технические условия;

УР — управление ресурсом;

ЧР — частичные разряды;

ЧРР — частотно-резонансная рефлектометрия;

OWTS — система измерения на основе осциллирующих волн (Oscillating wave test system).

5 Установление ресурсных характеристик, учет фактически выработанного и оценка остаточного ресурса кабельных изделий

5.1 В соответствии с требованиями [1] в конструкторской (проектной) документации на кабельные изделия должны быть установлены и обоснованы ресурсные характеристики и критерии оценки ресурса. Эти ресурсные характеристики (показатели состояния) приведены в технических условиях и указаны в эксплуатационной документации — в ПУР и в заключениях по результатам периодической оценки состояния кабельных изделий на основании решения, которое утверждается эксплуатирующей организацией.

5.2 При отсутствии данных о назначенном сроке службы кабельных изделий и его обосновании в эксплуатационной документации обоснование и установление ресурсных характеристик должны быть выполнены эксплуатирующей организацией в соответствии с требованиями [1] и с учетом рекомендаций [2].

5.3 Для установления и обоснования ресурсных характеристик могут быть использованы:

- значения ПС кабельных изделий, приведенные в технических условиях, межгосударственных и национальных стандартах и заключениях сертификационных центров;

- результаты оценки технического состояния и остаточного ресурса кабельных изделий, которые проводят для обоснования продления их срока службы;
- расчетные обоснования ПС, выполненные в соответствии с рекомендациями [2];
- результаты мониторинга ПС при выполнении ПУР;
- методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред.

5.4 В качестве ПС кабельных изделий используются электрические параметры кабелей и проводов, электрические, физико-химические и механические свойства электрической изоляции, полимерных оболочек и конструкционных элементов кабельных изделий.

5.5 Ресурс (срок службы) кабельных изделий, функционирующих во время и после проектных аварий, устанавливают с учетом их деградации как за счет ВВФ при нормальной эксплуатации, так и при возможных проектных авариях.

5.6 Общий порядок работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса кабельных изделий определен в ГОСТ Р 58341.1.

5.7 В соответствии с требованиями [1] и ГОСТ Р 58341.1 эксплуатирующая организация разрабатывает ПУР.

5.8 Процедура определения перечня представительных электрических кабелей и проводов для контроля ресурсных характеристик определена в ПУР. Учет фактически выработанного и оценку остаточного ресурса кабельных изделий проводят в соответствии с требованиями [1] и ГОСТ Р 58341.1 в рамках мероприятий и работ, указанных в ПУР и регламентах ТОиР. При оценках остаточного ресурса следует учитывать возможную частичную или полную замену кабельных изделий АС в рамках выполнения программ их модернизации.

5.9 Результаты работ по выполнению ПУР, работ по регламенту контроля технического состояния, разрушающего и неразрушающего контроля кабельных изделий вносят в базу данных по УР и используют для учета выработанного и контроля остаточного ресурса.

5.10 Для контроля выработанного ресурса и оценки эффективности ПУР для каждого блока АС выпускают годовой отчет с анализом скорости изменения ресурсных характеристик и оценкой ПС. Годовой отчет выпускают за период предыдущего года не позднее марта следующего года.

5.11 Годовой отчет по управлению ресурсом кабельных изделий за отчетный период должен содержать:

- информацию об установлении и обосновании ресурсных характеристик;
- результаты периодической оценки фактического технического состояния и остаточного ресурса представительных электрических кабелей и проводов;
- результаты мониторинга и прогнозирования тенденций механизмов деградации и старения;
- отчет о выполнении назначенных мероприятий по отслеживанию и/или сдерживанию деградации;
- результаты оценки эффективности выполненных мероприятий по мониторингу ресурсных характеристик, отслеживанию и/или сдерживанию деградации;
- выявленные при очередном контроле не предусмотренные в проекте АС факторы, способные негативно повлиять на механизмы деградации кабельных изделий и привести к ускоренной выработке их остаточного ресурса (при их наличии);
- предложенные организацией — разработчиком АС меры по исключению или снижению влияния не предусмотренных в проекте АС факторов, способных негативно повлиять на механизмы деградации кабельных изделий и их конструкционных и изоляционных материалов и привести к ускоренной выработке их остаточного ресурса (при их наличии);
- информацию о сокращенных сроках службы кабельных изделий, в случае если обнаружены не предусмотренные в проекте факторы, негативно влияющие на механизмы старения и деградации;
- информацию о продленных сроках службы кабельных изделий.

5.12 В годовом отчете определяют перечни кабельных изделий, расчетный срок службы которых составляет менее срока эксплуатации блока АС. Для этих электрических кабелей и проводов в ПУР и в регламент контроля технического состояния вносят изменения в части увеличения объема контроля технического состояния и/или уменьшения интервалов между периодическими оценками остаточного ресурса. Результаты периодических оценок остаточного ресурса учитывают в отчетах по периодической оценке безопасности.

6 Выполнение мероприятий по оценке технического состояния и управлению ресурсом кабельных изделий

6.1 Основные мероприятия ПУР и ТОиР, необходимые для выполнения работ по оценке и поддержанию технического состояния кабельных изделий в приемлемых для безопасности и эксплуатации пределах, указаны на рисунке 1. Эти мероприятия основаны на знаниях механизмов старения электроизоляционных материалов и опыте деградации электрических кабелей и проводов в эксплуатации, что указано в блоке 1 блок-схемы на рисунке 1. Мероприятия по планированию и координации работ по управлению ресурсом указаны в блоке 2. В блоке 3 указаны типичные мероприятия, направленные для ослабления интенсивности ВВФ в местах расположения кабельных трасс. Непосредственно учет выработанного ресурса и оценку остаточного ресурса выполняют на основании анализа результатов технического диагностирования и контроля, испытаний, анализа процессов старения и оценок деградации электрических кабелей и проводов во время эксплуатации, эти мероприятия указаны в блоке 4. В блоке 5 указаны мероприятия, которые проводят в рамках ТОиР для поддержания и частичного восстановления ресурса.

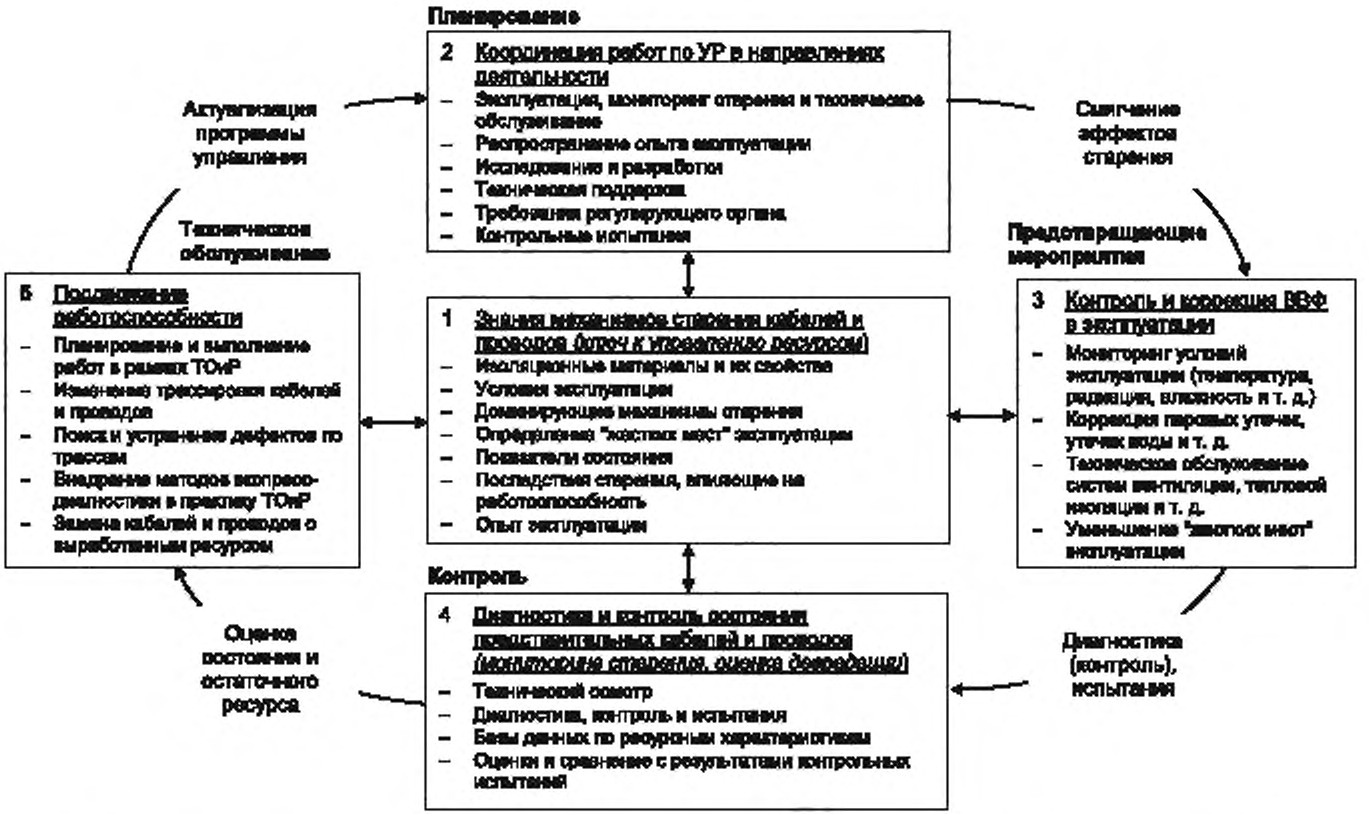


Рисунок 1 — Основные мероприятия по оценке состояния и управлению ресурсом кабельных изделий на атомных станциях

6.2 ПУР и ТОиР кабельных изделий предусматривают:

- определение стойкости кабельных изделий к ВВФ условий нормальной эксплуатации и проектных аварий;
- выявление доминирующих механизмов и эффектов старения кабельных изделий;
- реализацию мер по снижению интенсивности ВВФ на кабельные изделия для уменьшения влияния эффектов старения на ресурс;
- разработку и внедрение новых методов неразрушающего диагностирования (контроля) состояния электрических кабелей и проводов в эксплуатации, в том числе внедрение методов экспресс-диагностики в практику ТОиР;
- сравнение затрат на вывод кабельных изделий из эксплуатации и их замену с затратами на определение выработанного ресурса и оценки остаточного ресурса;
- учет кабельных изделий на блоках АС, срок службы которых соответствует назначенному или дополнительному сроку эксплуатации блока АС, а также кабелей и проводов, ресурсные характеристики которых исчерпываются ранее назначенного или дополнительного срока эксплуатации блока АС;
- своевременные ремонт и замену кабельных изделий на блоках АС, достигших предельного состояния.

6.3 Управление ресурсом кабельных изделий АС должно основываться:

- на соблюдении требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, руководств по безопасности, требований технических регламентов, нормативных документов эксплуатирующей организации, регламентирующих требования к обоснованию ресурса и устойчивости к ВВФ;
- поддержании кабельных изделий в исправном (работоспособном) состоянии путем своевременного выявления зарождающихся дефектов и повреждений;
- осуществлении профилактических мер (осмотры, обследования, ремонты);
- замене выработавших ресурс кабельных изделий;
- установлении механизмов образования и роста дефектов, способных привести к разрушению или отказам кабельных изделий;
- выявлении доминирующих (определяющих) механизмов (или совокупности механизмов) старения, деградации и повреждений кабелей и проводов;
- постоянном совершенствовании методов мониторинга старения и деградации кабелей и проводов;
- результатах обследования и оценки технического состояния кабельных изделий и обоснования остаточного ресурса (срока службы);
- смягчении (ослаблении) процессов старения, деградации и повреждений кабельных изделий посредством технического обслуживания, ремонта, уменьшении интенсивности ВВФ;
- периодической оценки эффективности и актуализации программы управления ресурсом кабельных изделий АС.

6.4 Состав работ по управлению ресурсом включает в себя следующее:

- выбор представительных кабельных изделий, подлежащих УР, и включение их в ПУР;
- сбор, систематизация и анализ данных, необходимых для выполнения работ по УР кабелей и проводов, формирование связанных баз данных по ПС;
- изучение и мониторинг процессов старения кабельных изделий;
- определение способов мониторинга ресурсных характеристик в процессе эксплуатации;
- оценка фактического состояния и остаточного ресурса кабелей и проводов;
- разработка и выполнение организационно-технических мероприятий для сдерживания деградации кабельных изделий вследствие их старения;
- оценка эффективности работ по ПУР;
- разработка и реализация мероприятий по совершенствованию работ по управлению ресурсом;
- документальное сопровождение работ по УР.

6.5 Способы мониторинга процессов старения, накопления повреждений и сдерживания деградации посредством регламентированных процедур:

а) выявление и сдерживание деградации кабельных изделий в рамках контроля технического состояния заключается в следующем:

1) сдерживание деградации кабельных изделий посредством системы ТОиР,

2) выявление деградации кабелей и проводов посредством входного и эксплуатационного контроля изоляционных материалов и конструкционных компонентов,

3) выявление деградации кабельных изделий посредством технических осмотров,

4) выявление старения и деградации кабельных изделий посредством нормативных испытаний и технического диагностирования в соответствии с действующими национальными стандартами и техническими документами эксплуатирующей организации,

б) сдерживание старения и деградации посредством мониторинга ВВФ;

в) использование опыта эксплуатации при УР,

г) исключение деградации посредством ремонта и замены.

6.6 Для определения траектории старения и предельного состояния кабелей и проводов следует применять:

1) методы ускоренного старения (коэффициент ускорения не должен приводить к полному изменению механизма старения, имеющего место в эксплуатации),

2) контроль состояния образцов-свидетелей кабелей, установленных в жестких местах в эксплуатации,

3) техническое диагностирование представительных кабелей и проводов в эксплуатации с применением неразрушающих методов контроля.

7 Составление перечня кабельных изделий для контроля ресурсных характеристик

7.1 Перечень представительных электрических кабелей и проводов формируют из кабельных изделий систем безопасности и систем, важных для безопасности, предназначенных для [3]:

- безопасного останова реактора и его поддержания в подкритическом и безопасном состоянии во время и после аварии;
- отвода остаточного тепла из активной зоны реактора во время и после аварии;
- устранения возможности выброса радиоактивных материалов или гарантирования того, что любой выброс останется в допустимых пределах во время и после аварии.

Этот перечень дополняют кабельными изделиями, отказ которых может привести к останову блока АС и существенным экономическим потерям.

Дополнительно в него могут быть включены кабели и провода, которые не удается идентифицировать, но которые эксплуатируются в «жестких условиях». Такие кабели и провода приравниваются к кабельным изделиям СБ и СВБ и маркируются специальным образом (бирками) с целью последующей идентификации при выполнении ПУР.

7.2 Алгоритм выбора представительных электрических кабелей и проводов непосредственно на блоке и последовательность выполнения технического диагностирования представлены на рисунке 2. Процедура выбора кабельных изделий включает в себя:

- идентификацию типов и марок кабелей и проводов СБ, СВБ и кабельных изделий, отказы которых приведут к останову блока АС;
- классификацию кабельных изделий по выполняемым функциям, типам и маркам;
- анализ проектных условий эксплуатации на блоке АС, включая условия проектных аварий;
- определение фактических условий эксплуатации кабельных изделий (окружающая температура, влажность, мощность поглощенной дозы, наличие огнезащитных покрытий, наличие обдува, вибраций и т. д.);
- классификацию кабельных изделий и формирование групп кабелей и проводов по условиям эксплуатации, марке, возможному воздействию проектных аварий, механизмам старения;
- определение ПС для проведения диагностики (контроля) состояния кабелей и проводов для каждой группы, которые необходимы для оценки выработанного и прогнозирования остаточного ресурса;
- проведение предварительной оценки степени старения кабелей и проводов в каждой группе на основании опыта эксплуатации и научных исследований и определение количества представительных кабелей и проводов для диагностики и контроля состояния;
- разработку компьютеризированной базы данных представительных кабельных изделий с указанием ПС их начальных, текущих и предельных значений, условий и режимов эксплуатации.

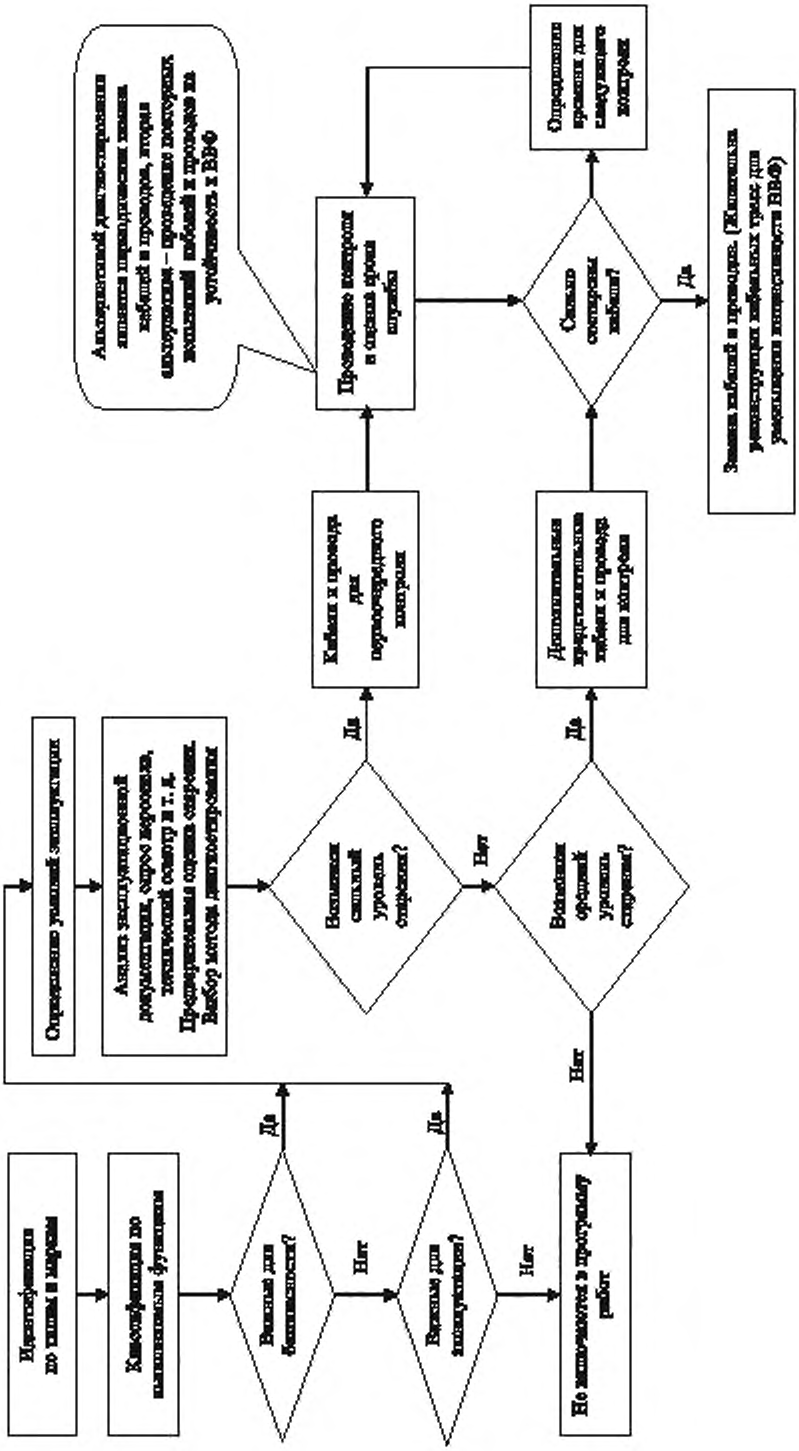


Рисунок 2 — Алгоритм контроля состояния кабельных изделий на атомных станциях

7.3 При проведении классификации кабельных изделий выполняют:

- анализ проектно-конструкторской и эксплуатационной документации на предмет выявления установленных ресурсных характеристик, критериев предельного состояния;
- сбор, анализ и систематизацию информации по истории эксплуатации кабельных изделий, включая сведения об авариях, аварийных нагрузках, нарушении нормальных условий эксплуатации; документы о результатах осмотров кабелей и проводов, проведенных в период эксплуатации, выявленных дефектах и повреждениях, ремонтных работах и реконструкции; данные о состоянии защитных покрытий; результаты регламентных испытаний; изменения проектных решений (проведение модернизации, восстановление параметров, изменение условий работы и т. п.).

7.4 Источниками априорной и эксплуатационной информации о состоянии кабельных изделий являются.

- проектно-конструкторская документация и документация заводов-изготовителей, паспорта, сертификаты, технические условия на изготовление и поставку и т. п.;
- документация по изменениям проектных решений (проектная документация, извещения об изменении, технические решения);
- отчеты о расследовании нарушений в работе АС, отчеты (акты) о расследовании цеховых нарушений;
- протоколы регламентных испытаний;
- информационные карты о дефектах и повреждениях кабельных изделий;
- отчетная документация по результатам контроля технического состояния и оценке срока службы.

7.5 При выявлении «жестких мест» эксплуатации на кабельных трассах следует учитывать следующие ВВФ, влияющие на их образование:

1) повышенную температуру (близость трасс кабелей к тепловому оборудованию и трубопроводам; разогрев изоляции в местах подключения к оборудованию и устройствам; разогрев силовых кабелей протекающим током; недостаточная вентиляция; утечки пара; наличие уплотнительных элементов, противопожарных ограждений; ОЗС, снижающих теплопередачу от силовых кабелей);

2) химические вещества (применение растворителей или смазочных материалов, не совместимых с кабельными изоляционными материалами; протечки жидкостей, содержащих химические вещества);

3) радиацию (близость к мощным источникам радиации — трубам, клапанам, задвижкам, оборудованию первого контура);

4) электрические воздействия (токи утечки, частичные разряды, превышение напряжения);

5) механические воздействия (вибрация, недопустимые деформация кабеля и задиры оболочек при монтаже);

6) непроектные воздействия (затопление, повреждения при проведении ТОиР близко расположенного оборудования);

7) другие воздействия.

8 Технический осмотр кабельных изделий

8.1 Периодические технические осмотры кабельных трасс АС являются эффективным инструментом по выявлению очагов локальной деградации кабельных изделий. Составной частью таких осмотров являются:

- визуальный и тактильный осмотр;
- тепловизионный контроль;
- опрос персонала;
- анализ оперативной эксплуатационной документации.

8.2 В зависимости от времени и способа проведения технических осмотров их подразделяют на текущие, специальные или связанные с техническим обслуживанием. Текущие осмотры выполняют на работающем блоке и используют для выявления самонагревания силовых кабелей, когда они находятся под нагрузкой. Такие осмотры рекомендуется выполнять в зонах, где присутствует большое количество кабелей и высокотемпературные трубопроводы. Доступ к кабелям и проводам, подлежащим проверке, должен быть беспрепятственным, без необходимости демонтажа оборудования или конструкций установки. Специализированные осмотры проводят при обнаружении конкретных окружающих или эксплуатационных воздействий, которые могут привести к значительной деградации кабельных изделий, когда необходимо принять срочные меры.

8.3 Осмотры, связанные с техническим обслуживанием в ППР или другими работами на остановленном блоке, выполняют на участках, доступ на которые закрыт при нормальной работе станции или на которых отсутствует прямой доступ к кабелям и проводам. Осмотры выполняют наряду с другими работами по техническому обслуживанию станции для получения доступа к кабелям и проводам, расположенным в таких зонах, как:

- соединительные коробки оборудования;
- участки с ограниченным доступом из-за радиационного воздействия;
- закрытые кабельные каналы или цепи;
- кабели, расположенные на труднодоступных участках.

8.4 Различные аспекты, подлежащие проверке в рамках технических осмотров, представлены в приложении А. Они касаются выявления «жестких мест» эксплуатации, выявления непроектных условий эксплуатации, выявления неисправностей в электрических системах.

9 Классификация текущего статуса кабельных изделий в эксплуатации

9.1 Для определения объема работ в рамках ПУР следует определить текущий статус кабельных изделий в эксплуатации — консервативно оценить состояние кабелей и проводов исходя из назначенного срока службы, времени фактической эксплуатации и наличия ВВФ. Для этого рекомендуется ввести следующую классификацию кабелей и проводов исходя из срока эксплуатации:

- С1 — кабели и провода с назначенным сроком службы $T_с$ не менее проектного/дополнительного срока эксплуатации блока АС $T_{пр}$: $T_с \geq T_{пр}$. Подтверждение данного статуса обеспечивается выполнением в рамках существующего на блоке ТОиР и мониторинга старения представительных кабелей. Периодичность мониторинга старения проводят не реже одного раза в 10 лет на представительных кабелях при отсутствии непроектных ВВФ. Рекомендуется начальные значения ПС для кабелей определять как можно раньше после пуска блока АС или монтажа кабелей.

- С2 — кабели и провода с $T_с$ менее $T_{пр}$, но более текущего срока эксплуатации блока $T_{тек}$. Для таких кабельных изделий до окончания $T_с$ проводят следующие мероприятия:

1) продление (переназначение) срока службы кабельных изделий блока АС на основе результатов плановой комплексной диагностики состояния представительных кабелей;

2) либо плановая замена кабельных изделий на момент окончания $T_с$.

- С3 — кабели и провода с $T_с \leq T_{тек}$. В этом случае в наиболее короткие сроки необходимо проводить следующие мероприятия:

1) проведение комплексной диагностики состояния представительных кабелей и проводов для переназначения их срока службы;

2) либо замена кабелей и проводов в кратчайшие сроки.

Для принятия решения о переназначении срока службы кабельных изделий АС должны быть представлены доказательства об отсутствии существенного старения за все время эксплуатации. Одним из таких доказательств является низкий уровень ВВФ в эксплуатации по сравнению с максимальными проектными значениями.

- С4 — кабели и провода, имеющие неподтвержденный статус, т.е. эти кабельные изделия не имеют никаких документальных подтверждений об устойчивости к проектным авариям и «жестким условиям» эксплуатации. Для таких кабельных изделий следует установить ресурсные характеристики. Это возможно двумя путями:

1) определением ресурсных характеристик на основе технического диагностирования или испытаний на устойчивость к ВВФ в течение нового назначенного срока службы;

2) получением документального подтверждения от изготовителя, центра сертификации или другой уполномоченной организации об устойчивости данных типов кабелей к ВВФ нормальной эксплуатации и при необходимости к ВВФ проектных аварий.

9.2 При непроектных воздействиях возможно изменение технического состояния кабельных изделий. В этих случаях оценку статуса кабелей и проводов выполняют на основе его фактического технического состояния.

9.3 Кабели и провода могут быть переведены в другой класс (например, из класса С4 в класс С1) при получении положительных результатов контрольных испытаний или документального подтверждения их статуса.

10 Мониторинг условий эксплуатации кабельных изделий

10.1 ВВФ определяют скорость старения кабельных изделий. Определение видов и величин ВВФ дает возможность делать предварительный прогноз о скорости старения, фактическом техническом состоянии и сроке службы кабелей и проводов, опираясь на данные контрольных испытаний. Оценка значений ВВФ позволяет выявить появление новых «жестких мест» эксплуатации из-за непроектных воздействий или изменения окружающей среды при проведении работ по модернизации систем блока АС.

10.2 Следуют проводить периодический контроль температуры и интенсивности ионизирующего излучения, так как они больше всего влияют на деградацию кабельных изоляционных материалов. Необходимо регистрировать наличие других потенциальных локальных воздействующих факторов, влияющих на деградацию и неподлежащих прямому измерению, например такие как наличие воды, пара, химических веществ, затопления кабельных трасс. Для большинства кабельных изделий для АС температура эксплуатации является определяющим фактором, вызывающим старение, радиационное старение обычно существенно только на определенных участках трасс.

10.3 Для измерения окружающей температуры предпочтительно использование датчиков температуры со встроенными регистраторами, имеющих автономные источники питания. В местах кабельных трасс, доступных персоналу, окружающую температуру следует контролировать тепловизионной техникой.

10.4 Для измерения дозы ионизирующего излучения используют дозиметры, которые устанавливают на кабельных трассах в зонах с наибольшим уровнем радиации. Измерение поглощенной дозы облучения необходимо проводить в течение длительного времени (обычно их устанавливают на одну кампанию блока АС) для того, чтобы зарегистрировать все возможные отклонения мощности дозы облучения от максимальных проектных значений, которые, как правило, значительно превышают фактические значения.

11 Определение показателей состояния. Общие положения

11.1 Оценку старения, технического состояния и управления ресурсом кабельных изделий осуществляют в рамках ПУР и ТОиР на основе ПС, определяемых методами диагностирования, контроля и испытаний. Традиционные методы диагностики, контроля и испытаний кабельных изделий представлены в таблице 1. Способы технического осмотра служат для предварительной качественной оценки степени старения кабелей и проводов, методы для проверки на соответствие установленным нормативной и технической документации пределам необходимы для установления текущего технического состояния (классификации в соответствии с установленными нормами). Оценку состояния и срока службы (учет выработанного ресурса и оценка остаточного ресурса) осуществляют по величине ПС, которые являются химическими, физическими, электрическими свойствами кабельных ПМ или параметрами кабеля.

11.2 Основные требования к ПС:

- должна быть определена зависимость между ПС и старением кабельных ПМ;
- должно быть определено влияние старения ПМ на работоспособность кабельных изделий;
- должны быть определены начальные и предельные значения ПС;
- измерения ПС следует проводить по аттестованным методикам, соответствующим требованиям приказа Госкорпорации «Росатом» [4], при этом допускается проведение измерений по документам по стандартизации в виде национальных стандартов, включенных в сводный перечень документов по стандартизации, который ведется в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации [5].

11.3 Для обеспечения неразрушающего контроля состояния кабельных изделий по ПС:

- следует использовать неразрушающие методы диагностирования КЛ;
- определить возможность компенсировать влияние окружающей температуры и влажности при проведении измерений ПС.

Таблица 1 — Методы диагностики (контроля), испытаний и регистрируемые ими эффекты старения кабелей и проводов на блоках атомных станций

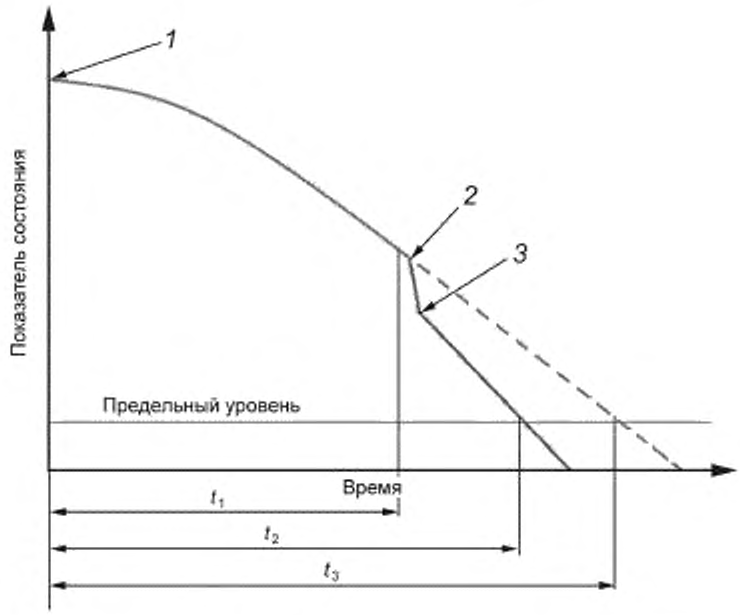
ВВФ	Эффект старения	Методы диагностики, контроля, испытаний														
		Осмотр		Проверка на соответствие установленным пределам				Оценка состояния и срока службы								
		Визуальный осмотр	Тактильный осмотр	Сопротивление изоляции	Испытания повышенным напряжением	Тепловизионный контроль	Временная рефлектометрия	Модуль упругости при сжатии	Диэлектрические потери	Индекс поляризации и показатель абсорбции	Регистрация частичных разрядов	Восстановленное напряжение, изотермический ток релаксации	Частотно-резонансная рефлектометрия	Температура начала окисления/ время индукции	ИК спектроскопия микрообразцов	Термомеханический анализ микрообразцов
Повышенная температура	Охрупчивание	•	•		•	•		•			•	•	•	•	•	•
	Образование трещин	•	•		•	•	•		•		•		•			
Радиация	Охрупчивание	•	•		•			•			•	•	•	•	•	•
	Образование трещин	•	•		•		•		•		•		•			
Механические нагрузки	Механическое повреждение	•	•		•		•		•		•		•			
	Износ	•	•													
Электрическое поле и вода	Водные триинги				•				•			•	•			
Влажная среда	Проникновение влаги			•	•				•	•		•				
Затопление трасс	Проникновение влаги			•	•				•	•		•				
Загрязненность	Поверхностная загрязненность	•	•	•	•				•	•		•				

11.4 Начальное и предельное значения ПС и траектория старения кабельных изделий должны быть определены заранее в специальных ускоренных испытаниях. В этих испытаниях ускоряющий фактор не должен приводить к полной смене механизма старения, который имеет место для кабельных ПМ в эксплуатации. Если повышение температуры ускоренных испытаний не изменяет механизм старения, то ее предельная величина ограничивается температурой плавления. При наличии эффекта мощности дозы в кабельных ПМ мощность поглощенной дозы в испытаниях не должна превышать 500 Гр/ч. При наличии эффектов синергизма, приводящего к неаддитивной деградации кабельных ПМ в эксплуата-

ции из-за нескольких ВВФ, эти эффекты должны быть воспроизведены в ускоренных испытаниях хотя бы частично. Траекторию старения кабельных изделий можно периодически контролировать путем мониторинга старения образцов-свидетелей кабелей и проводов, установленных вблизи трубопроводов с теплоносителем вне кабельных трасс. Скорость старения таких образцов-свидетелей будет в несколько раз превышать скорость старения кабелей и проводов в трассах при одинаковом механизме старения в обоих случаях.

11.5 Предельные значения ПС для кабельных изделий в нормальных условиях эксплуатации и в условиях возможных проектных аварий могут существенно различаться. При определении ресурсных характеристик для кабельных изделий, которые должны выполнять свои функции во время и после проектных аварий, принимается, что в конце назначенного срока службы они должны выдержать ВВФ проектных аварий, как это указано на рисунке 3. Здесь время t_1 соответствует назначенному сроку службы с учетом проектной аварии, время t_2 соответствует времени достижения ПС предельного состояния после проектной аварии, t_3 соответствует назначенному сроку службы в нормальных условиях эксплуатации.

11.6 Основными ВВФ в условиях нормальной эксплуатации являются: повышенная температура, низкоинтенсивная радиация, повышенная влажность, кислород воздуха, воздействие химических веществ, воздействие пара, вибрация от работающего оборудования, перепад высот (для силовых кабелей с ПБИ).



1 — начальное значение ПС; *2* и *3* — моменты изменения траектории старения под ВВФ проектной аварии и поставарийных окружающих условий

Рисунок 3 — Траектория старения кабеля в нормальных условиях эксплуатации и с учетом проектной аварии

11.7 Основными механизмами старения кабельных ПМ на АС являются: тепловое и радиационное окисление, увлажнение, деструкция и структурирование молекулярных цепей, обеднение пропиточного состава и усыхание ПБИ, трекинг в концевых муфтах силовых кабелей, водные и электрические триинги в изоляции силовых кабелей, износ под воздействием механических нагрузок. Некоторые полимерные изоляционные материалы имеют свои специфические механизмы старения, например старение ПВХ пластиката обусловлено в основном десорбцией пластификатора, которая лимитируется испарением пластификатора с поверхности кабельной оболочки. Скорость деградации изоляционных ПМ зависит от типа изоляции, величины и количества ВВФ и имеющих место эффектов синергизма и мощности дозы, типа и количества антиоксидантов и стабилизаторов, наличия контролируемых и неконтролируе-

мых примесей в оболочках контрольных кабелей. Практически все механизмы ведут в конечном итоге к охрупчиванию кабельных ПМ по своей траектории старения.

11.8 При прогнозировании срока службы кабельных изделий по нескольким ПС за срок службы принимают наименьший расчетный срок службы, полученный по этим нескольким показателям.

11.9 Техническое диагностирование (контроль) проводят на представительных кабельных изделиях либо на специально установленных образцах-свидетелях кабелей и проводов в жестких окружающих условиях.

11.10 При отсутствии методик неразрушающего контроля новых типов кабельных изделий в эксплуатации определение фактического состояния и оценку срока службы осуществляют:

1) разрушающими традиционными методами контроля;

2) неразрушающими методами контроля на основе новых ПС, если установлена корреляционная связь между новым ПС и общепринятым показателем состояния, например таким как ОУР. В дальнейшем эксплуатирующая организация в плановом порядке разрабатывает и внедряет в установленном порядке дополнительные методики.

11.11 Рекомендуется в рамках работ по учету выработанного ресурса и оценки остаточного ресурса контрольных кабелей выполнять работы по оценке целостности кабельных линий, используя для этого различные методы рефлектометрии и измерение сопротивления изоляции. Для кабелей напряжением 6 и 10 кВ такие работы являются составной частью работ по управлению ресурсом.

11.12 Для силовых кабелей напряжением 6 и 10 кВ рекомендуется при проведении технического диагностирования классифицировать их по состоянию для определения объема работ в рамках ПУР и ТОиР в соответствии с критериями, указанными в приложении Б.

12 Типовые показатели состояния, основанные на измерении физико-химических свойств кабельных полимерных материалов

12.1 Типовые ПС, основанные на измерении физико-химических свойств кабельных ПМ, обеспечивают практически неразрушающий контроль состояния и прогнозирования остаточного ресурса (срока службы) низковольтных кабелей (напряжением не выше 1000 В) и проводов. Принимается, что техническое состояние низковольтных кабелей определяется состоянием внешней оболочки, а состояние проводов — состоянием изоляции. Практически неразрушающий контроль обеспечивается проведением измерений ПС непосредственно по трассам кабеля в представительных точках без его разрушения либо на микрообразцах внешней оболочки массой от нескольких миллиграмм до нескольких десятков миллиграмм в лабораторных условиях (для кабелей, фактическая окружающая температура которых превышает 50 °С или фиксировалось наличие во время эксплуатации непроектных воздействий, следует оценивать и состояние изоляции, для этого микрообразцы изоляции могут изыматься на концевых участках, например в соединительных коробках).

12.2 При отсутствии ПС, который обеспечивает неразрушающий контроль состояния кабельной продукции, оценку его состояния проводят по величине ОУР внешней оболочки кабеля (изоляции провода). В таблице 2 представлены основные ПС для определения состояния низковольтных кабельных изделий.

Таблица 2 — Типовые показатели состояния кабельных полимерных материалов

Показатель состояния	Метод определения	Краткая характеристика
ОУР	Определение относительного удлинения при разрыве образцов кабельных оболочек и изоляции. Предельное значение равно 50 % по абсолютной величине, для нового поколения огнестойких кабелей — 20 %	Разрушающий контроль. Необходимо вырезать образцы из кабельных трасс. Применим для всех типов кабельных ПМ. Высокая чувствительность к старению. Является эталонным методом оценки деградации полимерных оболочек и изоляции
ТНО, ВИ	Измерение температуры начала окисления и измерение времени индукции микрообразца ПМ в ячейке прибора ДСК	Практически неразрушающий контроль по микрообразцам массой ≥4 мг. Применяется в основном для полиолефинов

Окончание таблицы 2

Показатель состояния	Метод определения	Краткая характеристика
Модуль упругости при сжатии (коэффициент жесткости)	Измерение полимерным индентором модуля упругости при сжатии (коэффициента жесткости) внешней оболочки кабеля	Неразрушающий контроль в локальном месте кабельной трассы. Чувствительность показателя зависит от типа материала полимерной оболочки и механизма старения
Интенсивность характерных полос в спектре инфракрасного поглощения	ИК Фурье НПВО спектроскопия микрообразцов ПМ	Практически неразрушающий контроль (диаметр микрообразца должен быть не менее 1 мм). Выбор характерных полос поглощения определяют типом ПМ и задачами диагностирования. Для ПВХ пластикатов разработаны методы оценки содержания пластификатора, степени деструкции высокомолекулярных цепей, для полиолефинов — степени окисления. Метод используется также для идентификации кабельных ПМ
Структурно-чувствительный параметр, характеризующий степень кристалличности ПТФЭ	Измерение удельной теплоты плавления методом ДСК микрообразцов ПМ	Практически неразрушающий контроль (масса микрообразца определяется типом прибора ДСК)
Относительная деформация по ТМА, коэффициент линейного теплового расширения и температура стеклования	Термомеханический анализ микрообразцов	Практически неразрушающий контроль (массу микрообразца определяют прибором ТМА). Относительную деформацию по ТМА применяют для оценки состояния не сшитых полимерных оболочек из этиленвинилацетата
Tg 5 % — время, соответствующее уменьшению массы микрообразца на 5 %	Термогравиметрия микрообразцов	Практически неразрушающий контроль по микросрезам массой ≥20 мг. Параметр, характеризующий степень деструкции молекулярных цепей ПВХ пластиката

13 Техническое диагностирование силовых кабелей с пропитанной бумажной изоляцией

13.1 В качестве основных дефектов силовых кабелей напряжением не выше 10 кВ с ПБИ в условиях эксплуатации на АС рассматривают:

- обеднение пропиточного состава и усыхание бумажной изоляции на локальных участках кабельных трасс из-за нарушения теплообмена между кабелем и окружающей средой (прокладка кабелей в трубах, стенных проходках, покрытие ОЗС и т. п.) и наличия вертикальных участков кабельных трасс;
- увлажнение бумажной изоляции на участках, примыкающих к концевых заделкам и соединительным муфтам, что характерно для кабелей с ПБИ;
- дефекты защитных оболочек кабелей из-за некачественного монтажа и повреждения оболочек при проведении вблизи кабельных трасс ремонтных работ (в месте повреждения в последующем интенсивно развиваются процессы старения бумажной изоляции, как увлажнение, так и ее усыхание).

13.2 Для диагностики кабелей с ПБИ применяется комплексный подход. Используется несколько ПС. В таблице 3 указаны ПС, применение которых было апробировано в рамках работ по оценке фактического состояния и продления срока эксплуатации на АС. Основными ПС являются:

- параметры ВН, они используются для определения фактического состояния кабелей;
- параметры ЧР, измеряемые при использовании OWTS, они предназначены для локации основных дефектов в силовых кабелях с ПБИ — участков изоляции с обедненным пропиточным составом. Другие ПС применяются для уточнения вида дефектов и степени деградации бумажной изоляции.

13.3 Основными показателями оценки фактического состояния силовых кабелей с ПБИ являются индекс поляризации PIRV по восстановленному напряжению и индекс электропроводности LIRV по восстановленному напряжению, которые рассчитываются из кривой ВН. В приложении В представлен алгоритм расчета этих показателей из кривой ВН.

Таблица 3 — Характеристика показателей состояния силовых кабелей с ПБИ

Показатель состояния	Характеристика показателя	Эффективность показателя для оценки состояния
Температура кабеля. Традиционно измеряют тепловизионной техникой разность температуры нагрева внешней оболочки и температуры окружающего воздуха и превышение температуры оболочки кабеля на разных участках кабеля, находящихся в одинаковых условиях	Самый простой метод для обнаружения развитых дефектов в доступных для визуального контроля трассах кабелей	Неэффективен в недоступных для визуального контроля трассах кабелей, регистрирует только развитые дефекты по градиенту температуры на поверхности оболочки и наличию протечек пропиточного состава
Сопротивление изоляции $R_{из}$, коэффициент абсорбции K_a и индекс поляризации PI изоляции	Являются интегральными показателями состояния	Низкая чувствительность к объемным дефектам, которые не вносят вклад в сквозной ток проводимости. Величина $R_{из}$ не пропорциональна степени деградации кабеля: усыхание ПБИ приводит к росту $R_{из}$, а увлажнение изоляции к уменьшению $R_{из}$
Неоднородности кабельной линии, измеряемые импульсной рефлектометрией	Используется для оценки длины кабелей, регистрации низкоомных дефектов (менее 1 кОм) и развитых емкостных неоднородностей кабельной линии	Эффективен для локализации развитых дефектов вдоль кабельной линии. Низкая чувствительность к дефектам
Индекс поляризации PIRV по восстановленному напряжению и индекс электропроводности LIRV по восстановленному напряжению	Интегральные показатели состояния, позволяющие количественно оценить состояние кабеля с ПБИ по изменению объемной электропроводности и поляризуемости	Высокая чувствительность к увлажнению и усушке ПБИ. Не позволяет локализовать дефекты вдоль кабельной линии
Параметры ЧР (интенсивность и положение на кабельных трассах), измеряемые системой OWTS	Служат для определения мест усыхания бумажной изоляции вдоль кабельных трасс	Эффективен для регистрации мест усыхания бумажной изоляции и других дефектов, характеризуется наличием свободного объема, который является необходимым условием образования ЧР
Спектр диэлектрических потерь — тангенс угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 0,001 до 1000 Гц	Служит для интегральной оценки влагосодержания изоляции. Рассматривается в качестве дополнительного ПС для оценки содержания влаги в изоляции	Высокая чувствительность к увлажнению и низкая чувствительность к усыханию бумажной изоляции
Неоднородности импеданса вдоль кабельной линии, измеряемые при помощи частотно-резонансной рефлектометрии	Определяет неоднородности импеданса вдоль кабельной линии	Регистрации всех типов дефектов в ПБИ, включая дефекты, в которых ЧР не образуются. Эффективность контроля дефектов в концевых муфтах определяется характеристиками измерительного прибора

14 Техническое диагностирование силовых кабелей с пластмассовой изоляцией среднего напряжения

14.1 Объектом диагностирования (контроля) являются силовые кабели с ПИ на номинальное напряжение 6 и 10 кВ.

14.2 В качестве основных дефектов силовых кабелей с ПИ в условиях эксплуатации на АС рассматривают:

1) развивающиеся дефекты в объеме изоляции, появление которых обусловлено старением из-за наличия повышенной температуры, электрического поля, механических повреждений при прокладке кабелей, включений в изоляции из-за несоблюдения технологии изготовления кабеля, водных и электрических триингов;

2) 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 (наличие дефектов, увлажнения, загрязнения в концевых и соединительных муфтах приводит к появлению трекинга, т. е. росту проводящих угольных дорожек на поверхности ПИ).

14.3 Для диагностирования кабелей с ПИ используется комплексный подход. Применяется несколько ПС. Характеристики этих ПС указаны в таблице 4. Основными из них являются: параметры ИТР, они служат для определения фактического состояния кабелей. В приложении Г представлен алгоритм расчета основного ПС — показателя старения изоляции AI(h) из кривой ИТР. Параметры ЧР, измеряемые с помощью OWTS, и измерение неоднородностей импеданса вдоль кабельной линии с помощью ЧРР предназначены для локации основных дефектов по трассам силового кабеля и оценки степени деградации изоляции в районе дефекта. Другие ПС применяются для уточнения вида дефектов и степени деградации изоляции.

Таблица 4 — Характеристика показателей состояния силовых кабелей с пластмассовой изоляцией

Показатель состояния	Характеристика показателя	Эффективность показателя для оценки состояния
Температура кабеля. Традиционно измеряют тепловизионной техникой разность температуры нагрева внешней оболочки и температуры окружающего воздуха и превышение температуры оболочки кабеля на разных участках кабеля, находящихся в одинаковых условиях	Самый простой метод для обнаружения развитых дефектов в доступных для визуального контроля трассах кабелей	Неэффективен в недоступных для визуального контроля трассах кабелей, регистрирует только развитые дефекты по градиенту температуры на поверхности оболочки
Сопротивление изоляции $R_{из}$, коэффициент абсорбции K_a и индекс поляризации PI изоляции	Являются интегральными показателями состояния	Низкая чувствительность к объемным дефектам, которые не вносят вклад в сквозной ток проводимости. Изменения K_a, PI, сопротивление изоляции обусловлено прежде всего наличием увлажнения и трекинга в муфтах
Неоднородности кабельной линии, измеряемые импульсной рефлектометрией	Оценка длины кабелей, регистрация низкоомных дефектов (сопротивлением менее 1 кОм) и развитых емкостных неоднородностей кабельной линии	Служит для локализации развитых дефектов вдоль кабельной линии. Низкая чувствительность к дефектам изоляции
Показатель старения изоляции AI(h), рассчитываемый из кривой ИТР согласно алгоритму, указанному в приложении Г	Интегральный метод состояния. Метод, позволяющий количественно оценить состояние кабеля по изменению величины объемного заряда в изоляции	Высокая чувствительность к дефектам изоляции. Не позволяет локализовать дефекты вдоль кабельной линии
Параметры ЧР (интенсивность и положение на кабельных трассах), измеряемые системой OWTS	Определение мест возникновения по трассам кабеля электрических триингов и микропустот, в которых возможно образование ЧР и других ионизационных процессов	Эффективен для регистрации дефектов, характеризующийся наличием свободного объема, который является необходимым условием образования ЧР и других ионизационных процессов
Интенсивность электрических разрядов в кабельных муфтах различной техникой	Регистрация ионизационных процессов из-за наличия трекинга и дефектов	Эффективен для выявления поврежденных муфт

Окончание таблицы 4

Показатель состояния	Характеристика показателя	Эффективность показателя для оценки состояния
Неоднородности импеданса вдоль кабельной линии, измеряемые при помощи частотно-резонансной рефлектометрии	Определение неоднородностей импеданса вдоль кабельной линии	Регистрации всех типов дефектов в ПИ по кабельным трассам, в том числе водных триингов. Эффективность контроля дефектов в концевых муфтах определяется характеристиками измерительного прибора
Спектр диэлектрических потерь — тангенс угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 0,001 до 1000 Гц	Дополнительный показатель состояния для оценки старения изоляции	Высокая чувствительность к увлажнению. Дает возможность оценить степень увлажнения изоляции в муфтах

15 Оценка остаточного ресурса кабелей с учетом устойчивости к внешним воздействующим факторам проектных аварий

15.1 Срок службы кабелей, выполняющих по проекту свои функции во время и после проектных аварий и имеющих текущий сертификационный статус С2 и С3, должен быть переназначен с учетом устойчивости к ВВФ проектных аварий в конце нового назначенного срока службы.

15.2 Если предельные значения диагностических параметров, которые приняты в качестве ПС, для кабелей с учетом проектных ВВФ не установлены, т. е. не определены значения ПС в точке 2 на траектории старения на рисунке 3, то для переназначения срока службы следует проводить контрольные испытания на устойчивость к ВВФ проектных аварий представительных образцов кабелей из эксплуатации. Такие контрольные испытания осуществляются в три этапа. Первый этап представляет собой ускоренное старение образцов кабелей для имитации глубины старения кабелей за период нового заданного срок эксплуатации (он же на завершающем этапе контрольных испытаний будет постулирован в качестве нового назначенного срока службы кабелей при условии успешного прохождения всех этапов испытаний), на втором этапе образцы кабелей подвергают испытанию на устойчивость к ВВФ проектных аварий, на третьем этапе — на устойчивость к поставарийным ВВФ.

15.3 Требования к контрольным испытаниям на устойчивость к ВВФ

15.3.1 Параметры ВВФ для ускоренных испытаний при оценке степени старения кабелей в нормальных условиях эксплуатации определяют из фактических условий эксплуатации. Параметры ВВФ для проведения испытаний на устойчивость к аварийным и поставарийным условиям постулируются в углубленном отчете по безопасности блока АС. Кабели обладают низкой теплопроводностью, поэтому для образцов кабелей допускается в испытаниях на устойчивость к высокотемпературной парогазовой среде применять упрощенный профиль изменения температуры и давления пара. Основным требованием в этих испытаниях является достижение максимальных величин давления, температуры и длительности воздействия пара, скорость изменения температуры и давления может быть существенно ниже постулированных проектом. Исключением из данного требования является кратковременный режим превышения температуры, например до 190 °С в течение 70 с, на фоне длительного температурного пика до 150 °С в течение 24 ч. Данный режим не приведет к необратимому изменению свойств кабеля, и он исключается из испытаний.

15.3.2 Контрольные испытания проводят по плану, который должен содержать подробное описание необходимых испытаний и измерений, в том числе: предельные условия эксплуатации, проектный/дополнительный срок службы, показатели состояния, процедуру искусственного старения и критерии приемки. Этапы испытаний для разрабатываемого плана приведены на блок-схеме на рисунке 4. На первом этапе испытаний моделируется тепловое и радиационное старение образцов кабелей на заданный срок нормальной эксплуатации, на втором этапе определяется устойчивость к воздействию высокотемпературной парогазовой среды во время аварии, на третьем этапе определяется устойчивость к поставарийному воздействию температуры, радиации и дезактивирующим растворам. Допускается изменение последовательности этапов испытаний, например на первом этапе можно совмещать моделирование радиационного старения за счет низкоинтенсивного ионизирующего излучения за время нормальной эксплуатации и определение радиационной стойкости кабелей при воздействии радиации при проектной аварии.



Рисунок 4 — Алгоритм выполнения контрольных испытаний кабелей

15.3.3 В плане испытаний должен быть представлен перечень ПС, которые следует использовать для оценки старения кабелей. ПС должен показывать тенденцию, которая монотонно изменяется в ходе деградации и может быть соотнесена с работоспособностью кабеля. Например, параметры, используемые в качестве ПС, могут отображать изменения в структуре и составе полимерного материала (изменение концентрации пластификатора, деградацию полимерной цепи, побочные реакции), в физических свойствах (удлинение при разрыве, модуль упругости) или в электрических характеристиках материалов (диэлектрические потери, коэффициент абсорбции). Для контроля состояния в испытаниях может быть доступен широкий круг методов, однако выбранный ПС должен быть чувствителен к эффектам старения для конкретного полимерного изоляционного материала.

15.3.4 В плане контрольных испытаний должны быть определены критерии работоспособности кабелей по результатам этих испытаний. За критерии работоспособности принимают предельные значения технических параметров кабеля и соответствующие им предельные значения ПС, выход за рамки которых предположительно уменьшит способность кабеля выдерживать нагрузки, связанные с нормальными условиями эксплуатации, а также в случае проектных аварий. Критерии работоспособности устанавливают перед началом испытаний. Несоответствие кабеля хотя бы одному из критериев означает, что кабель не прошел испытания.

15.3.5 В ходе контрольных испытаний проводят измерение ряда технических параметров кабеля. Объем измеряемых свойств и критерии работоспособности могут варьироваться и обычно зависят от конкретного применения кабеля на АС. Типичными рабочими параметрами являются: сопротивление изоляции, электрическая прочность и механические свойства. Другие параметры (например, электрическая емкость, коэффициент затухания электрического сигнала) тоже могут быть включены в план испытаний. Для включения параметра в качестве рабочего при конкретном применении кабеля для АС должен проводиться предварительный анализ и затем разрабатывают функциональный тест с критерием работоспособности для его использования в контрольных испытаниях. В таблице 5 указаны типичные параметры кабелей и критерии работоспособности.

Таблица 5 — Традиционные технические параметры кабеля и критерии работоспособности

Параметр	Тип кабеля	Критерий работоспособности		
		Новый кабель	После искусственного старения	Во время и после испытания с имитацией проектной аварии
Относительное удлинение при разрыве	Все типы	Должен отвечать техническим требованиям к кабелю	>50 % абсолютной величины[1)]	>50 % абсолютной величины
Испытание на эластичность при изгибе	Все типы	Трещины в изоляции отсутствуют	Трещины в изоляции отсутствуют	Трещины в изоляции отсутствуют
Испытание на электрическую прочность	Все типы	Тест пройден успешно	Тест пройден успешно	Тест пройден успешно
Сопротивление изоляции	Все типы	Должно соответствовать техническим требованиям к кабелю или значениям, приведенным в соответствующей проектной документации	Должно соответствовать техническим требованиям к кабелю, сниженным на один порядок, или значениям, приведенным в соответствующей проектной документации	Должно соответствовать техническим требованиям к кабелю, сниженным на четыре порядка. Кабель должен выполнять свои функции в соответствии с проектной документацией
Электрическая емкость	Кабели связи	Отсутствуют изменения, связанные с техническими характеристиками	Отсутствуют изменения, связанные с техническими характеристиками	Отсутствуют изменения, связанные с техническими характеристиками

Окончание таблицы 5

Параметр	Тип кабеля	Критерий работоспособности		
		Новый кабель	После искусственного старения	Во время и после испытания с имитацией проектной аварии
Коэффициент затухания, волновое сопротивление, устойчивость к помехам, скорость распространения сигнала	Коаксиальный	Нет изменений, связанных с техническими характеристиками	Нет изменений, связанных с техническими характеристиками	Нет изменений, связанных с техническими характеристиками[2)]
Другой параметр		Зависит от конкретного применения кабеля (например, отсутствие жидкости или пара в кабеле во время испытания с имитацией проектной аварии)		

[1)] Для некоторых кабелей может использоваться значение, составляющее менее 50 % от абсолютной длины.

[2)] Допускаются только такие изменения, как увеличение коэффициента затухания из-за повышения температуры, предусмотренное проектом АС или соответствующими стандартами.

15.3.6 Виды испытаний и ПС определяют количество и длину образцов кабелей. Сопротивление изоляции измеряют для всех кабелей, поэтому длина образцов кабелей должна быть не менее 3,3 м, количество от 3 до 5, дополнительно требуются небольшие образцы для проведения измерений механических свойств.

15.3.7 В настоящее время для новых негорючих и не распространяющих горение кабелей предельный порог для ОУР снижен до 20 % (ГОСТ 31996, ГОСТ Р 55025), что обусловлено сравнительно низкими начальными значениями исходной величины ОУР из-за наличия в их оболочках минеральных наполнителей, препятствующих горению.

15.3.8 Старение до предельного уровня от 20 до 50 % ОУР никоим образом не влияет на потерю минеральных наполнителей, обеспечивающих огнестойкость кабелей, поэтому в состав контрольных испытаний не включен тест на огнестойкость. Это означает, что к контрольным испытаниям допускаются кабели, удовлетворяющие комплексу требований по показателям пожарной безопасности, установленные в ГОСТ 31565.

15.3.9 В состав контрольных испытаний не включен тест на сейсмостойкость кабелей из-за наличия консервативного критерия для предельного состояния по ОУР. Работоспособность кабелей во время землетрясения должна достигаться минимизацией возможной их деформации, т.е. специальными приемами монтажа кабеля, что согласуется с международными рекомендациями.

15.3.10 Для моделирования эффекта старения за период нормальной эксплуатации проводят последовательно искусственное тепловое и радиационное старение. Как правило, для большинства полимерных изоляционных материалов более консервативным подходом является последовательность в испытаниях «радиация — тепловое воздействие», что обусловлено образованием в объеме некоторых облученных полимерных материалов нестабильных радикалов, которые являются причиной изменения свойств уже после воздействия облучения.

15.3.11 Мощность дозы в испытаниях не должна превышать 500 Гр/ч. Дозу определяют исходя из назначенного срока службы и фактической мощности дозы в месте эксплуатации (при отсутствии данных о фактической мощности дозы берут максимальную проектную мощность дозы).

15.3.12 На этапе моделирования теплового старения оценку времени ускоренного теплового старения при выбранной температуре испытаний проводят согласно закону Аррениуса по формуле

$$t_{исп} = t_{эксп} \cdot \exp\left[\left(\frac{E_a}{k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{исп}} + \frac{1}{T_{эксп}}\right)\right], \quad (1)$$

где $t_{исп}$ и $t_{эксп}$ — время испытаний и срок эксплуатации, ч;

$T_{исп}$ и $T_{эксп}$ — температура испытаний и температура эксплуатации, °К;

E_a — энергия активации процесса старения изоляции, эВ;

k — постоянная Больцмана, равная $0{,}817 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

Если величина E_a не определена, следует проводить дополнительные лабораторные испытания для ее определения (тепловое старение полимерных изоляционных материалов кабеля при нескольких температурах). Максимальная температура в испытаниях не должна превышать температуру плавления или разложения полимера.

15.3.13 Алгоритм контрольных испытаний, указанный на рисунке 4, не должен нарушаться при их выполнении. Не допускается использование разных образцов кабелей на очередных этапах испытаний, т. е. один и тот же образец должен последовательно пройти все этапы испытаний.

15.3.14 Цели и результаты типовых контрольных испытаний должны быть представлены в протоколе. В протоколе испытаний должно быть указано оборудование для проведения испытаний и измерений, этапы и перечень процедур испытаний, четко изложены результаты испытаний, критерии работоспособности, полученные экспериментальные данные, выводы по результатам испытаний, использованные ПС, методы их определения, сроки предполагаемого контроля состояния кабелей в эксплуатации по величине ПС. Таким образом, протокол должен содержать следующую информацию:

- номер протокола;
- название протокола;
- организация, проводившая испытание и составившая протокол;
- дата составления протокола;
- сроки и этапы испытаний;
- цель;
- идентификационные данные образцов кабелей для испытаний;
- паспорта на испытательное оборудование: данные поверки и аттестации, марка, модель, сертификаты;
- общее описание программы испытаний;
- результаты,
- выводы;
- ссылки и примечания;
- подписи.

16 Базы данных для обеспечения управления ресурсом кабельных изделий

16.1 Базы данных для обеспечения управления ресурсом кабельных изделий — это информационное обеспечение для проведения мониторинга старения, периодических нормативных испытаний и технического диагностирования (контроля) состояния кабелей и проводов. Они создаются и актуализируются на АС в рамках выполнения ПУР. Такие связанные базы данных должны представлять собой компьютеризированные кабельные журналы представительных кабельных изделий. Основные объекты компьютеризированного журнала — эксплуатационные и ресурсные характеристики кабельных изделий.

16.2 Рекомендуемые объекты баз данных, включая эксплуатационные, диагностические и нормативные характеристики кабельных изделий, представлены в приложении Д.

17 Особенности оценки остаточного ресурса электрических соединителей, кабельных муфт и проходок

17.1 Оценку фактического текущего состояния электрических соединителей, кабельных соединительных и концевых муфт и проходок (гермопроходок) проводят в рамках комплексного обследования

кабельных изделий по результатам технического диагностирования электрическими методами и испытаниям повышенным напряжением.

17.2 Основными методами контроля состояния электрических соединителей, кабельных соединительных и концевых муфт и проходок (гермопроходок) в КЛ являются:

- измерение сопротивления изоляции, коэффициента абсорбции, индекса поляризации изоляции кабеля. Рекомендуется измерение сопротивления изоляции всех жил многожильных кабелей проводить одновременно, используя специальные тестеры;
- импульсная рефлектометрия короткими зондирующими импульсами (не более 3 нс на полувысоте);
- испытание повышенным выпрямленным напряжением. Напряженность электрического поля для изоляции контрольных кабелей должна составлять 500 В/мм, для силовых кабелей номинальным напряжением более 1 кВ испытательное напряжение определяют по техническим документам эксплуатирующей организации.

17.3 Муфты и стенные проходки, электрическая изоляция которых изготовлена из ПМ, заменяют в рамках ТОиР при потере их электрических свойств и наличия повреждений конструкции.

17.4 Срок службы керамических электрических соединителей, разработанных для эксплуатации под герметичной оболочкой АС в жестких условиях эксплуатации, включая эксплуатацию под ВВФ проектных аварий, может быть продлен на основе контрольных испытаний. Порядок проведения таких испытаний указан в разделе 15. Основными ПС при этом являются:

- сопротивление электрической изоляции;
- переходное сопротивление контактов;
- стойкость к испытанию повышенным постоянным напряжением.

Предельные значения сопротивления изоляции и сопротивления контактов определены в технических документах на соединитель. Испытания повышенным напряжением проводят в соответствии с требованиями технических документов на соединитель.

17.5 Переназначение срока службы герметичных проходок в составе КЛ питания, цепей контроля и измерения для оборудования, расположенного под герметичной оболочкой, проводят по специальным программам. Состав работ по таким программам определяется конструкцией и электрической изоляцией герметичных проходок.

Приложение А
(рекомендуемое)

Типовые мероприятия при проведении технического осмотра кабельных трасс

Таблица А.1 — Выявление «жестких мест» эксплуатации

Основание для проверки	Причина появления нарушения эксплуатации/последствия/меры
Видимый разлив или распыление химических растворов, масла или утечка	Утечка/Очистите участок, локализуйте место нарушения эксплуатации и ликвидируйте утечку; проверьте, не подвергается ли кабельная продукция воздействию газообразных химических веществ через систему вентиляции
Кислый/горький привкус во рту или жжение в глазах	Возможная утечка кислоты или других едких химических веществ/Очистите участок, локализуйте место нарушения эксплуатации и ликвидируйте утечку
Нехарактерный запах	Возможное применение или разлив химических растворов, биологическая активность или чрезмерный нагрев электрооборудования
Чрезмерно высокие температуры	Вероятна ускоренная деградация кабелей/Проверьте возможные неисправности системы вентиляции; тщательно осмотрите кабели и провода
Чрезмерно высокая доза облучения	Возможна ускоренная деградация изоляции/Проверьте наличие источников радиации
Нехарактерные или изменившиеся звуки	Неисправности оборудования, влияющие на состояние кабельной продукции
Утечки пара	Возможное повышение температуры в данной зоне; кабели могут подвергнуться сильной деградации под прямым воздействием пара/Тщательно осмотрите кабели
Просачивание или утечка воды/конденсата	Определите местоположение и ликвидируйте; проверьте, не вызвана ли данная проблема утечкой или распылением пара; проверьте уровень температуры и убедитесь, что он не соответствует контуру с радиационным загрязнением; тщательно осмотрите кабели
Ухудшение состояния лакокрасочного покрытия на стенах или конструкциях	Возможное повышение температуры или дозы радиации
Оборудование или конструкции с сильной вибрацией	Возможное повреждение оболочек кабелей/Тщательно проверьте кабельные оболочки на наличие порезов или трещин
Высокотемпературные трубопроводы	Возможная ускоренная деградация кабелей и проводов, расположенных поблизости

Таблица А.2 — Идентификация непроектных воздействий на кабельные изделия

Основание для проверки	Причина появления нарушения эксплуатации/последствия/меры
Изменение цвета на участке поверхности кабеля (включая появление желтоватых и беловатых пятен)	Локальный участок с жесткими условиями эксплуатации
Обширное изменение цвета (включая появление желтоватых и беловатых пятен)	Обширный участок трассы с жесткими условиями эксплуатации или продолжительная перегрузка по току
Перекрученный или сильно перегнутый кабель	Возможные дефекты при установке, некачественное техническое обслуживание, внешние механические нагрузки
Чрезмерный нагрев кабелей и проводов на отдельных участках (определяется прикосновением или тепловизионным контролем)	Возможное локальное воздействие высокой температуры; возможное некачественное электрическое соединение
Чрезмерный нагрев кабеля по всей длине (определяется прикосновением или, предпочтительнее, тепловизионной техникой)	Возможная перегрузка по току, наличие чрезмерно большого количества расположенных рядом кабелей (групп) или большой участок с высокими температурами
Трещины на оболочке или изоляции	Термическая, химическая или радиационная деградация
Наличие масла или загрязнений на поверхности кабеля/провода	Возможная миграция пластификаторов, стабилизаторов, антиоксидантов (ПВХ кабели, бутилкаучук или хлорсульфированный полиэтилен), биологическая активность или химическое воздействие
Лотки с высоким уровнем заполнения	Проверьте температуру кабелей
Признак аномального перегиба или растяжения кабеля	Проверьте кабели на наличие признаков порезов, трещин или разломов изолирующего материала из-за ошибок при установке
Структурное повреждение лотка или отсутствие элементов для укрепления краев лотка	Проверьте оболочки кабелей на наличие признаков порезов, трещин или задиров
Концентрические трещины (в термопластичных материалах)	Проверьте кабели на наличие локального перегрева или неисправных соединений
Следы помутнения, шероховатости или пыль на поверхности	Проверьте поверхность на наличие контакта с химическими веществами или растворами
Растянутые, деформированные или размягченные полимерные оболочки	Проверьте наличие высоких температур или доз радиации

Таблица А.3 — Идентификация электрических неисправностей в кабельных линиях

Основание для проверки	Причина появления нарушения эксплуатации
Нехарактерный звук вблизи кабелей (гул, свист)	Возможно наличие электрических разрядов
Ошибочные показания измерительных приборов	Возможно наличие тока утечки
Следы нагара на поверхности	Возможно наличие электрических разрядов
Изменение цвета кабеля/провода заземления	Возможно наличие короткого замыкания на землю

Приложение Б
(рекомендуемое)

Классификация силовых кабелей в эксплуатации по техническому состоянию

Таблица Б.1 — Классификация технического состояния силовых кабелей в эксплуатации по результатам технического диагностирования и рекомендации по их техническому обслуживанию и ремонту

Классификация состояния	Оценка степени старения изоляции	Рекомендации персоналу при проведении ТОиР
Работоспособное, норма	Старение отсутствует	Эксплуатация без ограничений, техническое обслуживание согласно нормативной и технической документации (проверка степени старения на отдельных представительных кабелях в самых жестких условиях и режимах эксплуатации один раз в течение 10 лет)
Работоспособное с незначительными отклонениями	Низкая степень старения, ее наличие фиксируется отдельными методами контроля	
Работоспособное со значительными отклонениями	Средняя степень старения, наблюдается тенденция к дальнейшей деградации изоляции	Эксплуатация с выполнением контроля степени старения изоляции неразрушающими методами. Объем и частоту контроля состояния определяют эксперты в рамках ПУР
Работоспособное ухудшенное	Высокий уровень старения, остаточный ресурс изоляции ограничен	Плановое определение причин ухудшенного состояния различными методами (проведение внеплановых испытаний повышенным напряжением, неразрушающий или разрушающий контроль) и устранение причин ухудшенного состояния, проведение при необходимости ремонта кабеля
Неисправное работоспособное (предотказное состояние)	Признаки предельного состояния изоляции по результатам диагностирования (прогнозирование срока службы затруднено, например из-за низкой чувствительности метода контроля на данной глубине старения изоляции)	Плановый вывод кабеля из эксплуатации, плановый ремонт или замена кабеля
Предельное	Признаки предельного состояния изоляции по результатам диагностирования нескольких ПС, измеряемых разными методами, или по величине нормативного параметра	Вывод из эксплуатации или неплановый ремонт кабеля

Приложение В
(рекомендуемое)

Показатели состояния кабелей, определяемые при измерении восстановленного напряжения

Величину восстановленного напряжения определяют величиной объемного заряда изоляции кабеля. На рисунке В.1 представлена типичная кривая восстановленного напряжения.

В качестве основных показателей состояния принимают индекс поляризации *PIRV* и индекс электропроводности LIRV, которые рассчитывают из кривой восстановленного напряжения.

Кривая восстановленного напряжения представлена в виде суммы экспонент с постоянными параметрами A_i и τ_i ($i = 1...n$)

$$U_r(t) = \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad \text{(В.1)}$$

где t — время измерения, с.

Для описания реально измеряемых кривых ВН во временном диапазоне от 0,1 до 2000 с значение n достаточно взять равным от 3 до 5.

PIRV определяют как отношение максимума кривой ВН U_{rm} к сумме интенсивностей короткоживущих положительных компонент A_+

$$PIRV = 10 \cdot |U_{rm} / A_+|, \quad \text{(В.2)}$$

а показатель *LIRV* определяют как отношение U_{rm} к общей площади короткоживущих компонент S_+

$$LIRV = 100 \cdot |U_{rm} / S_+|. \quad \text{(В.3)}$$

В обоих случаях множители и знак модуля введены для удобства использования показателей *PIRV* и *LIRV*.

Деление U_{rm} на A_+ фактически представляет нормировку U_{rm} на величину объемной остаточной поляризации изоляции в момент начала измерения ВН.

Деление U_{rm} на величину S_+ представляет собой нормировку U_{rm} на величину объемного заряда, который определяет токи деполяризации короткоживущих зарядовых состояний.

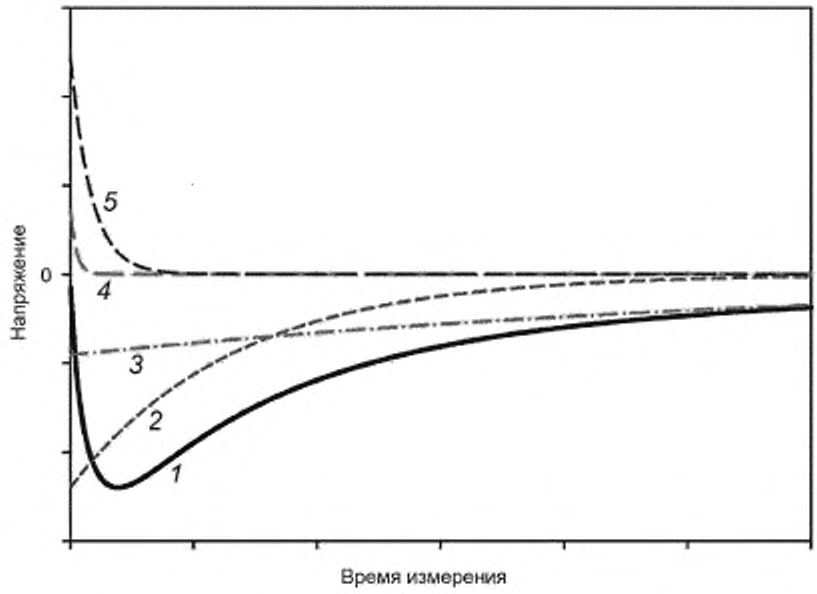


Рисунок В.1 — Типичная кривая восстановленного напряжения *1* и ее компоненты *2*—*5*

Приложение Г
(рекомендуемое)

Определение показателя состояния изоляции из сшитого полиэтилена по результатам измерения изотермического тока релаксации

ИТР — это разрядный ток, параметры которого определяют не только заранее заданными временем и напряжением зарядки, но и свойствами диэлектрика. Оценку состояния (старения) проводят по параметрам так называемой кривой распределенного заряда. Типичные кривая тока релаксации и кривая распределенного заряда представлены на рисунках Г.1 и Г.2. Экспериментальную кривую ИТР описывают уравнением

$$I_{IRC} = I_0 + \sum_{i=1}^{n} I_i \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \qquad (Г.1)$$

где I_j и τ_i — интенсивность и время жизни i-й компоненты тока релаксации;

I_0 — установившийся ток.

Обычно кривую ИТР можно однозначно разложить на три компоненты. Для однородной ПИ первую компоненту длительностью от 5 до 10 с ассоциируют с бездефектной областью изоляции, вторую компоненту длительностью от 25 до 70 с связывают с релаксацией заряда на границах раздела диэлектрик — полупроводящий слой, третью длительностью от 250 до 900 с — с дефектами в объеме изоляции.

Кривая распределенного заряда представляет собой зависимость $I_{IRC}t - \log_{10}t$, она подобна зависимости распределения ловушек по энергии, заполненных электронами в верхней половине запрещенной зоны диэлектрика.

Для ПИ в качестве ПС используют отношение $AI(h)$ между максимумами h_3 и h_2 (см. рисунок Г.2), кривых *2* и *3*, которые являются кривыми распределенного заряда для *2* и *3* компонент ИТР соответственно.

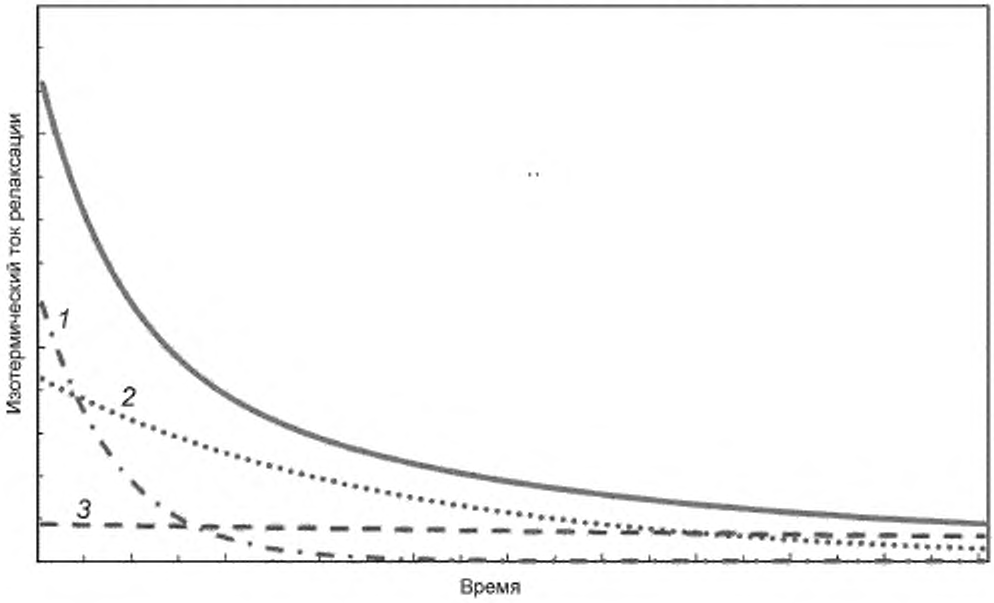


Рисунок Г.1 — Кривая изотермического тока релаксации и ее компоненты

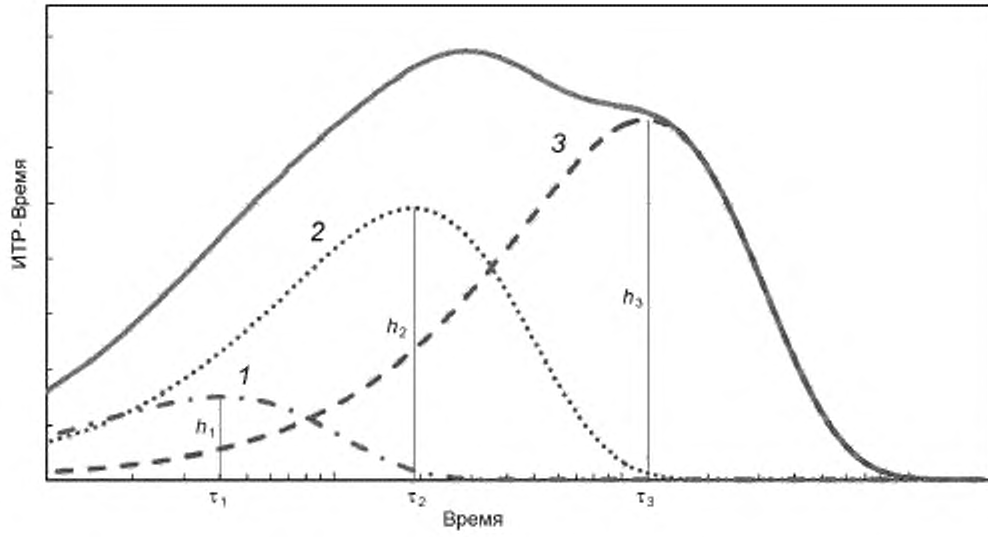


Рисунок Г.2 — Кривая распределенного заряда и ее компоненты

Приложение Д
(рекомендуемое)

Объекты базы данных для информационного обеспечения управления ресурсом кабельных изделий

Таблица Д.1 — Рекомендуемые объекты для базы данных

Объекты базы данных разного уровня (подчиненности)		
Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
Напряжение рабочее		
Назначение		
Класс безопасности		
Элементы кабельной линии	Наименование	
	Тип	
	Характеристика	
Оборудование (для которого кабель предназначен)	Станционное обозначение	
	Помещение	
	Система	
Кабели	Нормативные данные	ГОСТ/ТУ
		Год изготовления
		Срок службы по ТУ или ГОСТ
		Номинальное напряжение
		Номинальный ток
		Продолжительность работы во время перегрева
		Длительно допустимая температура жилы
	Трассировка	Год монтажа
		Длина по паспорту
		Длина по рефлектометрии
		Внешние воздействующие факторы
		Номер трассы
		Помещение
		Тип ОЗС

Продолжение таблицы Д.1

Объекты базы данных разного уровня (подчиненности)		
Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
Кабели	Условия и режимы эксплуатации	Максимальная температура окружающей среды
		Максимальная мощность дозы
		Ток рабочий
		Максимальная температура покрова
		Другие деградационные факторы
		Параметры проектных аварий
	Нарушение эксплуатации	Дата отказа
		Описание
		Вид нарушения
		Непосредственная причина
		Коренная причина
		Последствия
		Рекомендации
		Источник информации
	Срок службы	Срок службы по проекту
		Прогнозируемый срок службы
		Назначенный срок службы
		Методы контроля состояния
		Показатели старения
		Документы по переназначению срока службы

Окончание таблицы Д.1

Объекты базы данных разного уровня (подчиненности)		
Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
Кабели	ТОиР и контроль состояния	Дата измерения
		Визуально-оптический контроль
		Испытание повышенным напряжением
		Тепловизионный контроль
		Электрические параметры
		Рефлектометрия
		Диэлектрическая частотная спектроскопия
		Восстановленное напряжение
		Ток релаксации
		Частичные разряды
		Метод микрообразцов
		Другие аттестованные методы
		Выводы и рекомендации
		Профилактическое обслуживание
		Проведенные замены участков КЛ и реконструкция
		Фактическое техническое состояние
	Дополнительные данные	

Библиография

[1] НП-096-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения»

[2] РБ-136-17 Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Установление и методы мониторинга ресурсных характеристик электротехнического оборудования атомных станций»

[3] НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»

[4] Приказ Госкорпорации «Росатом» от 31 октября 2013 г. № 1/10-НПА «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии»

[5] Постановление Правительства Российской Федерации от 12 июля 2016 г. № 669 «Об утверждении Положения о стандартизации в отношении продукции (работ, услуг), для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов и иных объектов стандартизации, связанных с такой продукцией»

УДК 62-1/-9:006.354 ОКС 27.120.99

Ключевые слова: атомные станции, кабельные изделия, техническое диагностирование, испытания, ресурсные характеристики

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *М.В. Лебедевой*

Сдано в набор 11.01.2021. Подписано в печать 19.01.2021 Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,32.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru