ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62385— 2012

АТОМНЫЕ СТАНЦИИ

Контроль и управление, важные для безопасности. Методы оценки рабочих характеристик измерительных каналов систем безопасности

IEC 62385:2007
Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Methods for assessing the performance of safety system instrument channels (IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2013

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт атомных электростанций» (ОАО «ВНИИАЭС») и Автономной некоммерческой организацией «Измерительно-информационные технологии» (АНО «Изинтех») на основе аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4, выполненного Российской комиссией экспертов МЭК/ТК 45

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 12 сентября 2012 г. № 291-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62385:2007 «Атомные станции. Контроль и управление, важные для безопасности. Методы оценки рабочих характеристик измерительных каналов систем безопасности» (IEC 62385:2007 «Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Methods for assessing the performance of safety system instrument channels»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «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

© Стандартинформ, 2013

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 . . . 1
4 Требования к проверке рабочих характеристик технологической контрольно-измерительной аппаратуры . . . 3
4.1 Краткая информация . . . 3
4.2 Общие требования . . . 3
4.3 Условия проведения испытаний . . . 3
4.4 Периодичность испытаний . . . 4
4.5 Место проведения испытаний . . . 4
4.6 Калибровка измерительного и испытательного оборудования . . . 4
4.7 Результаты испытаний . . . 4
4.8 Валидация методов испытаний . . . 4
4.9 Квалификация специалистов по проведению испытаний . . . 5
5 Технические средства верификации рабочих характеристик измерительной аппаратуры . . . 5
5.1 Введение . . . 5
5.2 Калибровка . . . 5
5.3 Проверки каналов . . . 5
5.4 Функциональное тестирование . . . 6
5.5 Испытание времени реакции . . . 6
6 Методы верификации калибровки измерительной аппаратуры . . . 6
6.1 Общие положения . . . 6
6.2 Метод взаимной калибровки (взаимной валидации) . . . 6
6.3 Оперативный контроль калибровки . . . 7
7 Методы испытания времени реакции . . . 8
7.1 Испытание времени реакции датчиков давления . . . 8
7.2 Испытание времени реакции температурных датчиков . . . 10
8 Оперативное обнаружение закупоривания и пустот в трубопроводе измерения давления . . . 11
9 Верификация рабочих характеристик нейтронных детекторов . . . 12
Приложение А (справочное) Взаимная калибровка/взаимная валидация РДТ . . . 13
Приложение В (справочное) Оперативный контроль калибровки . . . 16
Приложение С (справочное) Методы испытаний времени реакции для датчиков давления и нейтронных детекторов . . . 18
Приложение D (справочное) Методы испытаний времени реакции для РДТ . . . 20
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 23
Библиография . . . 23

Введение

a) Технические положения, основные вопросы и организация стандарта

Настоящий стандарт содержит описание методов испытаний для гарантии соответствия измерительных каналов системы безопасности на атомных станциях спецификациям в отношении погрешности, времени реакции и прочих рабочих характеристик. Настоящий стандарт применяется к тем измерительным приборам, основные датчики которых измеряют температуру, давление, перепад давления, уровень жидкости, скорость потока жидкости и плотность потока нейтронов. Цель настоящего стандарта — в установлении методов испытаний, которые могут использоваться дистанционно при работе станции в оперативном режиме, без необходимости входить в защитную оболочку реактора или физически получать доступ к измерительным приборам.

b) Место настоящего стандарта в структуре серии стандартов МЭК ПК 45А

МЭК 62385 является документом МЭК ПК 45А третьего уровня, касающимся проблемы методов оценки рабочих характеристик каналов измерительной аппаратуры систем безопасности.

Более подробное описание структуры серии стандартов МЭК ПК 45А см. перечисление d) настоящего введения.

c) Рекомендации и ограничения по применению настоящего стандарта

Основной интерес настоящий стандарт представляет для атомных энергетических компаний, которые используют оперативные испытания рабочих характеристик, поставщиков, которые разрабатывают и устанавливают такие системы, и контрольно-надзорных органов, добивающихся документального консенсуса в промышленности на основе успешной практики. Эти пользователи получат преимущества от осведомленности о методах и практическом опыте, которые эксперты МЭК считают адекватными, и снижения издержек, сопутствующих стандартизации методов и практического опыта.

d) Описание структуры серии стандартов МЭК ПК 45А и взаимосвязь с другими документами МЭК и документами других организаций (МАГАТЭ, ИСО)

Документом высшего уровня серии стандартов МЭК ПК 45А является МЭК 61513. Этот стандарт касается требований к системам контроля и управления, важных для безопасности атомных станций (АС), и лежит в основе серии стандартов ПК 45А.

В МЭК 61513 имеются непосредственные ссылки на другие стандарты ПК 45А по общим вопросам, связанным с категоризацией функций и классификацией систем, оценкой соответствия, разделением систем, защитой от отказов по общей причине, аспектами программного и технического обеспечений компьютерных систем и проектированием пультов управления. Стандарты, на которые имеются непосредственные ссылки, следует использовать на втором уровне совместно с МЭК 61513 в качестве согласованной подборки документов.

К третьему уровню серии стандартов МЭК ПК 45А, на которые в МЭК 61513 нет непосредственных ссылок, относятся стандарты, связанные с конкретным оборудованием, техническими методами или конкретной деятельностью. Обычно документы, в которых по общим вопросам имеются ссылки на документы второго уровня, могут использоваться самостоятельно.

Четвертому уровню, продолжающему серию стандартов МЭК ПК 45А, соответствуют технические отчеты, не являющиеся нормативными документами.

Для МЭК 61513 принята форма представления, аналогичная форме представления базовой публикации по безопасности МЭК 61508, с его структурой общего жизненного цикла безопасности и структурой жизненного цикла системы; в нем приведена интерпретация общих требований МЭК 61508-1, МЭК 61508-2 и МЭК 61508-4 для применения в ядерной области. Согласованность с этим стандартом будет способствовать соответствию требованиям МЭК 61508, интерпретированным для ядерной области. В этой структуре МЭК 60880 и МЭК 62138 соответствуют МЭК 61508-3 применительно к ядерной области.

В МЭК 61513 приведены ссылки на стандарты ИСО, а также на документ МАГАТЭ 50-С-QA по вопросам, связанным с обеспечением качества.

В серии стандартов МЭК ПК 45А последовательно реализуются и детализируются принципы и базовые аспекты безопасности, предусмотренные правилами МАГАТЭ по безопасности атомных электростанций, а также серией документов МАГАТЭ по безопасности, в частности требованиями NS-R-1 «Безопасность атомных электростанций: Проектирование» и руководством по безопасности NS-G-1.3 «Системы контроля и управления, важные для безопасности атомных электростанций». Термины и определения, применяемые в стандартах серии МЭК ПК 45А, согласованы с терминами и определениями, применяемыми в МАГАТЭ.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АТОМНЫЕ СТАНЦИИ

Контроль и управление, важные для безопасности. Методы оценки рабочих характеристик измерительных каналов систем безопасности

Nuclear power plants. Instrumentation and control important to safety. Methods for assessing the performance of safety system instrument channels

Дата введения — 2013—06—01

1 Область применения

Цель настоящего стандарта состоит в определении требований к подтверждению приемлемости рабочих характеристик измерительных каналов систем безопасности с помощью испытаний времени реакции, верификации калибровки и других процедур. Те же требования могут применяться для подтверждения приемлемости рабочих характеристик систем, не связанных с безопасностью, и других измерительных каналов. Настоящий стандарт содержит основные темы и включает в себя приложения, в которых приведена дополнительная информация. Приложения приведены исключительно для информации и содержат выборочную совокупность доступных методов.

Методы, описанные в настоящем стандарте, используются для проверки калибровки измерительного прибора в отношении времени реакции и погрешности.

Настоящий стандарт описывает прямые методы, используемые для калибровки в пределах заданных допусков, и косвенные методы для указания необходимости прямой калибровки. Использование косвенных методов предусматривает более длительные интервалы времени между регулярными прямыми калибровками.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты. Для датированных стандартов следует использовать только соответствующую этой дате редакцию. При отсутствии даты используют последнюю редакцию указанного документа, включая любые изменения.

МЭК 61224:1993 Ядерные реакторы. Время реакции резистивных детекторов температуры (РДТ). Натурные измерения (IEC 61224:1993, Nuclear reactors — Response time in resistance temperature detectors (RTD) — In situ measurements)

МЭК 62397 Атомные станции. Контроль и управление, важные для безопасности. Резистивные детекторы температуры (IEC 62397, Nuclear power plants — Instrumentation and control important to safety — Resistance temperature detectors)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **точность измерения** (accuracy of measurement): Степень соответствия между результатом измерения и условно истинным значением измеряемой величины.

[IEV 394-40-35]

3.2 **закупоривание** (blockage): Сужение трубы (например, трубопровод измерения давления), обусловленное скоплением загрязняющих веществ в реакторной воде, отвердением бора, оставленны-

Издание официальное

ми частично открытыми клапанами и т. д. Закупоривание может вызвать задержку в измерении динамической информации о давлении.

3.3 **калибровка** (calibration): Совокупность действий, которые устанавливают при заданных условиях зависимости между значениями величин, показанных измерительным прибором или измерительной системой, или значениями, представленными вещественной мерой или эталоном, и соответствующими значениями, установленными в стандартах.

[IEV 394-40-43]

3.4 **канал** (channel): Совокупность взаимосвязанных элементов в системе, которая выдает один выходной сигнал. Канал теряет свою идентичность, когда сигналы одного выхода объединяются с сигналами, поступающими от других каналов (например, от контрольно-измерительного канала или канала обслуживания устройств безопасности).

[Глоссарий безопасности МАГАТЭ, Версия 2.0, 2006]

3.5 **проверка каналов** (channel check): Процесс, посредством которого оператор станции сравнивает показания резервированных измерительных каналов на регулярной основе в целях проверки нахождения их в необходимом согласии с предопределенными критериями.

3.6 **взаимная калибровка (перекрестная проверка, взаимная валидация)** (cross-calibration) (cross-validation): Процедура взаимного сравнения показаний резервированных измерительных приборов (например, температурных датчиков) для идентификации показаний датчиков выбросов как средства подтверждения калибровки или идентификации изменений калибровки. Данному определению более соответствует термин «взаимная валидация», но чаще используется термин «взаимная калибровка».

3.7 **дрейф показаний** (drift): Изменение выходного сигнала измерительного канала или датчика, которое может возникать между калибровками и которое нельзя связать с изменениями технологических параметров или условий окружающей среды.

3.8 **импульсная линия (измерительный трубопровод)** (impulse line) (sensing line): Трубопровод или система труб, соединяющая технологический процесс с датчиком; импульсные линии (измерительные трубопроводы) обычно используются для соединения датчиков давления, уровня и расхода с технологическим процессом. Длина измерительного трубопровода варьируется от нескольких метров до нескольких сотен метров. Измерительный трубопровод может также включать в себя отсечные и корневые задвижки и прочие технические средства трубопровода по всей длине.

3.9 **натурное испытание, испытание на месте работ** (in-situ test): Испытание датчика или преобразователя сигнала, проводимое без удаления датчика или преобразователя сигнала из положения его нормальной установки в системе.

3.10 **метод анализа шумов** (noise analysis technique): Метод натурного испытания времени срабатывания датчиков, детекторов и преобразователей и оперативного обнаружения закупориваний, пустот и протечек в трубопроводах измерения давления.

3.11 **оперативный контроль, оперативный мониторинг** (on-line monitoring): Непрерывное или периодическое измерение и регистрация выходных сигналов установленных измерительных приборов.

3.12 **выброс** (outlier): Показание датчика (например, такого как резистивный детектор температуры, далее — РДТ), которое превысило заданное отклонение.

3.13 **контроль рабочих характеристик (проверка рабочих параметров)** (performance monitoring)(performance verification): Процесс демонстрации того, что установленный измерительный канал продолжает выполнять намеченную функцию контроля технологического параметра с ожидаемыми точностью, временем реакции и устойчивостью.

3.14 **датчики давления** (pressure transmitters): Датчики давления, уровня и расхода, действие которых основано на принципе измерения или перепада давления, и упоминаемые в настоящем стандарте как «преобразователи сигнала давления», «датчики давления» или просто «датчики».

3.15 **резервирование** (redundancy): Использование альтернативных (одинаковых или неодинаковых) конструкций, систем и элементов таким образом, чтобы все они могли выполнять требующуюся функцию независимо от эксплуатационного состояния или отказа (выхода из строя) любого из них.

[Глоссарий безопасности МАГАТЭ, Версия 2.0, 2006]

3.16 **резистивный детектор температуры; РДТ** (resistance temperature detector; RTD): Детектор, обычно имеющий цилиндрический корпус из нержавеющей стали, защищающий платиновый резистор, сопротивление которого меняется в зависимости от температуры. Этот детектор помещают в трубопровод, содержащий жидкость, температуру которой таким образом измеряют. Детектор может быть погружен непосредственно в жидкость или защищен промежуточным кожухом, называемым «термокарманом» («защитной гильзой»).

3.17 **время реакции** (response time): Время, необходимое для достижения элементом определенного состояния на выходе после получения сигнала, обусловливающего переход к этому состоянию на выходе.

[Глоссарий безопасности МАГАТЭ, Версия 2.0, 2006]

3.18 **периодичность испытаний** (test interval): Время, прошедшее между запусками одинаковых испытаний на одних и тех же датчике и устройстве обработки сигнала, логическом модуле или конечном управляющем устройстве.

3.19 **термокарман** (thermowell): Защитный кожух для РДТ, термопар и других температурных датчиков. Термокарман также используется для упрощения замены термодатчика.

3.20 **постоянная времени** (time constant): Для системы первого порядка – время, необходимое для достижения выходным сигналом системы 63,2 % его конечной вариации после ступенчатого изменения ее входного сигнала.

Если система не является системой первого порядка, термин «постоянная времени» не применяют. Для системы более высокого порядка следует использовать термин «время реакции».

[МЭК 62397]

4 Требования к проверке рабочих характеристик технологической контрольно-измерительной аппаратуры

4.1 Краткая информация

Системы управления и безопасности атомных станций зависят от технологической контрольно-измерительной аппаратуры, которая должна обеспечивать достоверную информацию, с тем чтобы гарантировать безопасность и эффективность станции. Поэтому качество функционирования этой контрольно-измерительной аппаратуры должно проверяться через определенные интервалы времени в течение срока службы станции. С этой целью на атомных станциях разрабатывают, утверждают и применяют методы испытаний. Данные методы включают в себя технические средства для выполнения натурных испытаний и испытаний во время работы станции (оперативные испытания).

Настоящий подраздел содержит требования к натурным и оперативным испытаниям в целях проверки того, что технологическая контрольно-измерительная аппаратура выдает точные и своевременные данные, и для идентификации дефектных измерительных приборов. Требования настоящего стандарта распространяются на технологические датчики, измеряющие температуру, давление, уровень жидкости, расход и плотность нейтронного потока.

4.2 Общие требования

Для проверки того, что измерительные каналы систем безопасности на атомных станциях функционируют в пределах ограничений своих технических спецификаций, должен проводиться контроль рабочих характеристик. Испытания для проверки рабочих характеристик должны проводиться в соответствии с письменными процедурами, а результаты испытаний — фиксироваться документально. Измерительный канал тестируется полностью и при однократном испытании. В случае если весь канал не тестируется, необходимо комбинировать отдельные испытания по группам элементов или отдельным элементам, охватывающим весь измерительный канал для проверки эксплуатационных характеристик всего канала. Контроль рабочих характеристик охватывает часть полной системы безопасности, включающую в себя измерительный канал. Испытаниям должны подвергаться датчики и преобразователи, измерительные трубопроводы (импульсные линии), термокарманы, кабели и другие активные и пассивные элементы, влияющие на общие характеристики измерительного канала.

Если какой-либо показатель функционирования, например время реакции, нельзя идентифицировать точно, то выполняют консервативную оценку показателя путем измерения и анализа и сравнивают с соответствующими эксплуатационными требованиями, с тем чтобы гарантировать приемлемое качество функционирования измерительного канала.

4.3 Условия проведения испытаний

В общем случае, при квалификационных испытаниях конструкции на соответствие техническим условиям, рассматривают аномальные внешние условия, такие как сейсмические явления, поля излучений, избыточные давления, температуру и условия влажности. Испытание оборудования для таких условий окружающей среды не входит в область применения настоящего стандарта. Однако требования к испытанию рабочих характеристик, установленные в настоящем стандарте, должны выполняться в допустимых границах внешних условий испытаний измерительного прибора (например, температуры, давления, влажности, скорости потока жидкости и т. д.). Если условия испытаний меняются в широких

пределах, то необходимо вносить соответствующие поправки для сравнения или анализа тренда данных, с тем чтобы компенсировать характеристики, обусловленные изменением внешних условий, или влияние внешних условий на качество функционирования измерительного прибора.

В некоторых случаях, таких, например, как испытание времени реакции температурных датчиков, технологические условия эксплуатации могут оказывать сильное влияние на результат. В этих случаях испытания должны проводиться в нормальных или близких к ним условиях эксплуатации, чтобы обеспечить фактические «штатные» эксплуатационные характеристики датчиков. Не следует выполнять экстраполяцию лабораторных условий на условия станции в тех случаях, когда у результатов экстраполяции могут быть большие и неисчислимые неопределенности.

4.4 Периодичность испытаний

Должны быть установлены интервалы времени между испытаниями для обнаружения недопустимых эксплуатационных характеристик контрольно-измерительной аппаратуры. Для определения периодичности испытаний контрольно-измерительной аппаратуры рекомендуется рассмотреть следующие факторы:

a) требования технической спецификации;

b) нормативные требования;

c) рекомендации изготовителя и промышленные стандарты;

d) разницу между измеренными эксплуатационными характеристиками и допустимыми пределами характеристик;

e) скорость изменения рабочих характеристик в зависимости от времени эксплуатации и

f) частоту отказов элементов и целевые показатели надежности.

4.5 Место проведения испытаний

Испытания должны проводиться на площадке исходя из целесообразности. Извлечение из оборудования измерительного прибора приемлемо для испытаний, только если оно не повлияет на результаты испытаний. В большинстве случаев, описанных в настоящем стандарте, натурные испытания проводят удаленно от шкафов измерительных приборов в зоне пункта управления. Должны быть осуществлены процедуры для подтверждения того, что состояние оборудования восстановлено после испытаний.

4.6 Калибровка измерительного и испытательного оборудования

Калибровка измерительного и испытательного оборудования, используемого в подтверждении рабочих характеристик оборудования, должна проводиться в соответствии с требованиями национальных стандартов и/или принятыми величинами естественных физических явлений. Для проведения калибровки должны использоваться процедуры, представленные в письменном виде, а результаты калибровки — фиксироваться документально.

4.7 Результаты испытаний

Результаты испытаний сравнивают с допустимыми пределами характеристик. Допуски на неопределенности, связанные с контрольным испытанием рабочих характеристик, должны быть включены в результаты испытаний или в установление пределов характеристик. Если обнаружится, что результаты испытаний превышают пределы характеристик или скорость изменения рабочих характеристик такова, что допустимые пределы характеристик могут быть превышены до начала следующего испытания, то для устранения превышения следует выполнить заранее установленное предписание.

Погрешность результатов испытаний определяют в процентах от значения, установленного при испытании, или в виде допустимых пределов (±) отклонения сообщаемого значения. Погрешность результатов испытаний определяют исходя не только из неопределенностей оборудования, но также из неопределенностей испытания и используемых методов анализа. Если неопределенности невозможно идентифицировать объективно, то должно быть показано, что результаты консервативны.

4.8 Валидация методов испытаний

Все методы испытаний для контроля рабочих характеристик должны пройти валидацию, которая должна фиксироваться документально с учетом:

a) сравнения метода испытаний с соответствующими лабораторными испытаниями, натурными испытаниями или обоими типами испытаний, с тем чтобы установить правомерность метода и определить величину погрешности его результатов. Погрешность метода испытаний и результатов должна быть установлена теоретически или экспериментальными средствами, или их сочетанием. При определении погрешности необходимо рассматривать все источники погрешности метода испытания;

b) теоретического обоснования метода испытания;

c) подтверждения того, что удовлетворены допущения и условия, гарантирующие обоснованность метода испытания. Кроме того, если допущения при испытании не полностью удовлетворены, следует продемонстрировать, что полученные результаты, тем не менее, с осторожностью могут быть приняты во внимание;

d) того, что любое программное обеспечение, используемое для сбора, квалификации или анализа данных, следует проектировать и разрабатывать с использованием системного подхода согласно принятым отраслевым стандартам на разработку программного обеспечения для атомных станций. Все программные пакеты следует всесторонне испытать для верификации и валидации (ВиВ). Основы для испытаний ВиВ и результаты работы по ВиВ должны быть зарегистрированы документально. Испытания ВиВ следует проектировать так, чтобы выявлять любые проблемы, которые могут привести к недействительным или недостаточно убедительным результатам.

4.9 Квалификация специалистов по проведению испытаний

Испытания для верификации рабочих характеристик измерительных приборов атомной станции должны проводиться специалистами по проведению испытаний, должным образом обученными опытными экспертами с документально подтвержденной квалификацией для проведения обучения. Обучение специалистов по проведению испытаний должно документально регистрироваться и периодически совершенствоваться. Ниже приведены примеры учебных тем для квалификации специалистов по проведению испытаний:

a) принципы испытаний для верификации рабочих характеристик;
b) рассмотрение процедур испытаний для определения рабочих качеств;
c) подготовка оборудования для сбора данных;
d) обучение программному обеспечению сбора данных и анализа данных;
e) интерпретация и документирование результатов.

5 Технические средства верификации рабочих характеристик измерительной аппаратуры

5.1 Введение

Настоящий подраздел содержит требования к калибровке, проверкам канала, функциональным испытаниям и испытаниям времени реакции технологической контрольно-измерительной аппаратуры. Далее приведено описание методов проведения калибровки и испытания времени реакции измерительного прибора.

Качество функционирования измерительных приборов на атомных станциях можно установить в лаборатории или при проведении стендовых испытаний. Технические средства для лабораторной или стендовой калибровки измерительных приборов общеизвестны и в настоящем стандарте не рассматриваются. Далее приведено описание технических средств натурной/оперативной верификации калибровки датчиков и преобразователей. Для характеристик времени реакции датчиков и преобразователей в настоящем стандарте описаны также и методы лабораторных/стендовых и натурных/оперативных испытаний.

5.2 Калибровка

При калибровке измерительного прибора используют входные сигналы с известной точностью, с тем чтобы удостовериться, что измерительный прибор выдает требуемые выходные сигналы в требуемом рабочем диапазоне в заданных пределах. Если для верификации рабочих характеристик измерительного прибора используется калибровка, то калибровка должна быть проведена или удостоверена посредством (принимая во внимание предыдущий опыт) отдельного приложения или комбинации следующих мероприятий:

a) возмущение контролируемой переменной;
b) моделирование контролируемой переменной (иногда его называют «традиционной калибровкой»);
c) оперативный контроль (по сравнению резервированных и/или разнообразных параметров) и
d) взаимная калибровка (также называемая «взаимной валидацией») резервированных датчиков.

В настоящем стандарте приведено описание методов оперативного контроля и взаимной калибровки/взаимной валидации.

5.3 Проверки каналов

Проверки каналов, включающие в себя сравнение показаний двух или более измерительных каналов, предназначены для верификации непрерывной работоспособности измерительных каналов между

калибровками. Следовательно, эти проверки должны проводиться чаще, чем сама калибровка. Такие проверки каналов обычно не требуют аппаратного взаимодействия, выходящего за пределы наблюдения или регистрации показания(й) данного канала.

5.4 Функциональное тестирование

Функциональное тестирование проводят для проверки выполнения измерительным каналом своей намеченной функции.

5.5 Испытание времени реакции

Испытание времени реакции проводят через определенные интервалы времени. Испытание допускается проводить, используя контрольно-измерительную аппаратуру, как в рабочем, так и в нерабочем состоянии. Приемлемые методы испытания времени реакции определены ниже в настоящем стандарте, а дополнительная информация об этих методах приведена в приложениях. Эти методы включают в себя натурные испытания, которые допускается проводить при работе станции в оперативном режиме.

В качестве примеров методов натурных испытаний времени реакции можно привести испытание времени реакции на ступенчатое изменение контурного тока для РДТ и метод анализа шумов датчиков давления и нейтронных детекторов. Для испытания времени реакции термопар проводят испытание времени реакции на ступенчатое изменение контурного тока либо применяют метод анализа шумов. Метод анализа шумов допускается также применять для контроля ухудшения времени реакции РДТ. Если определяется ухудшение времени реакции, то проводят испытание времени реакции на ступенчатое изменение контурного тока, с тем чтобы установить, приемлемо ли время реакции РДТ. Подробные требования к РДТ можно найти в МЭК 61224 и МЭК 62397.

Испытание времени реакции остальной части измерительного канала также следует проводить по мере необходимости. Примерами лабораторных или стендовых методов испытаний является испытание с погружением для температурных датчиков и испытание линейного изменения — для датчиков давления.

6 Методы верификации калибровки измерительной аппаратуры

6.1 Общие положения

В настоящем подразделе описывается натурная/оперативная верификация калибровки датчиков и преобразователей.

Калибровку резервированных измерительных приборов, таких как РДТ теплоносителя первого контура на станции с реактором, охлаждаемым водой под давлением (ВВЭР), допускается удостоверять методом взаимной калибровки или взаимной (перекрестной) валидации. Для нерезервированных измерительных приборов или если резервирование ограничено всего лишь несколькими измерительными приборами, используется принцип оперативного контроля калибровки. Требования к методу взаимной калибровки и принципу оперативного контроля калибровки приведены ниже.

6.2 Метод взаимной калибровки (взаимной валидации)

Метод взаимной калибровки обычно используется для РДТ. После того как группа РДТ должным образом откалибрована и установлена на станции, периодически проводят испытания взаимной калибровки (например, однократно каждый цикл технического обслуживания), с тем чтобы гарантировать, что результаты калибровки РДТ не вышли за допустимые пределы.

Испытание включает в себя систематическое сравнение группы резервированных РДТ, измеряющих одну и ту же температуру. Для проведения испытания последовательно измеряют сопротивление датчиков РДТ и преобразовывают в эквивалентные температуры с помощью самых новых таблиц калибровки РДТ. Температурные показания РДТ также получают с помощью станционного компьютера или соответствующей системы сбора данных. Затем значения температуры должны быть усреднены и вычислены отклонения каждого РДТ от среднего значения. Показание любого РДТ, которое превысило предварительно заданное отклонение, следует назвать «выбросом», отметить и/или удалить из расчета средних показателей, и указанный процесс необходимо повторять по мере необходимости для определения всех выбросов.

Испытание следует проводить при нескольких значениях температур при изотермических условиях во время периодов разогрева или расхолаживания блока. Имея данные, полученные при трех или большем числе разных температур, можно составить новую калибровочную таблицу для определения выброса. Данный принцип по существу составляет натурную калибровку выброса. Дополнительную информацию см. в приложении А.

При выполнении испытаний взаимной калибровки/взаимной валидации учитывают следующее факторы:

a) Данные испытаний должны быть проверены на устойчивость температуры станции, чтобы гарантировать отсутствие чрезмерных температурных колебаний. Если обнаружены чрезмерные колебания температуры станции, то к данным испытаний необходимо применять аналитические поправки, чтобы минимизировать влияние флуктуаций на результаты испытаний.

b) Данные испытаний должны быть исследованы на однородность температуры станции, чтобы гарантировать, что различные контуры находятся при одинаковых температурах, а резервированные датчики подвергаются действию практически равных температур. В противном случае должны использоваться аналитические поправки для учета любых температурных различий, которые могут повлиять на результаты испытаний.

c) Неопределенность результатов испытаний должна быть определена путем комбинации неопределенностей измерения и испытательного оборудования, а также неопределенностей, обусловленных флуктуациями температуры станции, неоднородностью температуры блока и любой возможной случайной ошибкой.

Описанный выше метод взаимной калибровки может также использоваться для проверки калибровки термопар. Для применения данного метода необходимо показания каждой термопары сравнивать со средним значением РДТ. Термопары не следует взаимно калибровать. Их калибруют взаимно по среднему показанию резервированных РДТ, которые измеряют одинаковую температуру.

Критерии приемлемости для РДТ, означающие, что испытание взаимной калибровки проведено, зависят от станции. Станционная процедура должна определять критерии приемлемости на основе станционных требований, предъявляемых к точности для температурных датчиков. Как правило, РДТ считают приемлемым, если отклонение его значений составляет менее ± 0,3 °С от средней температуры. Для термопар типичные критерии приемлемости должны быть ± 1,0 °С.

6.3 Оперативный контроль калибровки

6.3.1 Введение

Описанный выше метод взаимной калибровки может использоваться, если имеются резервированные (например, шесть или более) измерительные приборы. Если резервированных измерительных приборов недостаточно, то для проверки калибровки измерительных приборов следует использовать оперативный контроль калибровки.

Принцип оперативного контроля калибровки описан ниже, а более подробная информация приведена в приложении В. Оперативный контроль калибровки применим к большинству измерительных приборов и может использоваться для проверки калибровки датчиков и преобразователей или всего измерительного канала в целом. В частности, оперативный контроль калибровки удобен для датчиков давления, уровня и расхода. В этой связи требования к оперативному контролю калибровки в настоящем стандарте приведены на основе датчиков давления, уровня и расхода. Вместе датчики давления, уровня и расхода называются «датчиками давления» или просто «датчиками».

6.3.2 Принцип оперативного контроля калибровки

Калибровка датчиков давления атомной станции обычно включает в себя два этапа:

a) Определяют, необходима ли калибровка. Этот шаг выполняют, подавая на измерительный прибор ряд известных входных сигналов, охватывающих рабочий диапазон измерительного прибора. Для каждого входного сигнала регистрируют выходной сигнал и сравнивают его с критериями приемлемости.

b) Проводят калибровку (если это необходимо). Если измерительный прибор не соответствует своим критериям приемлемости, то его калибруют, выполняя необходимые настройки.

Первый этап допускается автоматизировать и выполнять во время работы станции. Данный принцип можно использовать для проверки калибровки измерительного прибора или продления межкалибровочного интервала измерительных приборов. Данный принцип называют «оперативным контролем калибровки», «оперативным испытанием калибровки» или «оперативным контролем дрейфа показаний».

6.3.3 Требования к сбору данных

Для проведения оперативного контроля калибровки следует непрерывно регистрировать выходной сигнал измерительных приборов или периодически определять дрейф показаний, систематические ошибки, шумы и другие аномалии. Данные оперативного контроля калибровки можно получить от станционного компьютера, специализированной системы сбора информации или иных устройств. Следует собирать данные во время периодов пуска и/или останова станции, чтобы позволить проведение верификации калибровки измерительных приборов по всему их рабочему диапазону. Калибровка оборудо-

вания сбора данных должна быть утверждена и документально зафиксирована. Эта калибровка должна проводиться в соответствии с применимыми требованиями обеспечения качества.

6.3.4 Требования к квалификации и анализу данных

Скрининг (квалификацию) данных оперативного контроля следует проводить, чтобы гарантировать, что для верификации калибровки измерительных приборов не используется посторонняя информация. Примерами методов скрининговой оценки данных являются фильтрация и испытания амплитудной плотности вероятности (АПВ). После квалификации данных должен быть проведен анализ, включающий в себя (по мере необходимости) методы усреднения и/или моделирования для оценки значения контролируемого процесса. Предполагаемое значение технологического параметра сравнивают с показаниями отдельных измерительных приборов на протяжении некоторого периода времени для определения дрейфа показаний прибора или отклонения от оценки технологического параметра. Результаты оценивают в пределах допустимого дрейфа показаний или пределов отклонения, которые согласуются с данными анализа уставок атомной станции.

6.3.5 Учет дрейфа общего характера

Оперативный контроль для продления межкалибровочных интервалов датчиков должен включать в себя оговоренное заранее условие о том, что не менее одного датчика из каждой группы резервированных датчиков должно калиброваться не реже одного раза в каждом цикле технического обслуживания. Кроме того, такая калибровка должна проводиться на ротационной основе, чтобы каждый датчик в резервированной группе калибровался периодически (например, один раз каждые восемь лет), даже если датчик не зафиксировал проблем с калибровкой в процессе оперативного контроля.

Вместо калибровки одного из резервированных датчиков в каждом цикле технического обслуживания допускается использовать методы моделирования, чтобы учесть любую возможность дрейфа общего характера. Для этой цели приемлемы физические или эмпирические методы моделирования либо их сочетание при условии, что погрешность оценки процесса методом моделирования лучше, чем дрейф показаний, который должен быть определен. Любой используемый метод моделирования должен быть надлежащим образом настроен, утвержден и документально зафиксирован для системы, которую он моделирует. Настраивание модели включает в себя подачу в модель ряда известных входных и выходных сигналов, соответствующих широкому диапазону рабочих условий технологического процесса, и настройку коэффициентов модели или весовых коэффициентов, пока модель не сможет правильно выдавать значение технологического параметра на основе измерения других технологических параметров.

Все неопределенности в результатах методов моделирования должны быть количественно определены, для того чтобы гарантировать, что точность метода моделирования превышает идентифицируемый дрейф показаний.

6.3.6 Частота сбора данных

Частота сбора данных зависит от используемого метода анализа. Для анализа методами моделирования требуется частая дискретизация (одна или более выборок в секунду). Кроме того, данные сигналов, которые будут смоделированы вместе, должны отбираться одновременно. Для анализа с помощью методов усреднения частая дискретизация не требуется, хотя частая дискретизация может способствовать повышению надежности результатов.

7 Методы испытания времени реакции

7.1 Испытание времени реакции датчиков давления

Для испытания времени реакции датчиков давления применяют два метода. Они называются «метод лабораторных или стендовых испытаний» и «метод станционных (или натурных) испытаний». Метод лабораторных испытаний называют еще «испытанием по линейному изменению», а натурный или станционный метод испытания называют «методом анализа шумов». Требования к применению данных методов для атомных станций изложены ниже.

7.1.1 Испытание по линейному изменению

При испытании по линейному изменению используют генератор гидравлического давления для получения тестового сигнала в форме линейного изменения. Линейно изменяющийся сигнал используют при испытании времени реакции датчиков давления атомной станции, потому что проектные события на атомных станциях обычно предполагают, что переходные процессы давления имеют форму линейно нарастающей функции.

Линейно изменяющийся сигнал подают на испытуемый датчик и одновременно на быстродействующий эталонный датчик. Время реакции эталонного датчика должно быть менее 10 мс. Для определения времени реакции испытуемого датчика необходимо зарегистрировать и проанализировать выходной сигнал испытуемого и эталонного датчиков. Анализ должен включать в себя измерение асимптотической задержки между линейно изменяющимися выходными сигналами испытуемого и эталонного датчиков. В испытательных линиях, связывающих гидравлический генератор пилообразного напряжения с испытуемым датчиком, не должно быть воздушных пробок. Воздушные пробки в испытательных линиях могут вызвать колебания экспериментальных данных и стать причиной ошибки в результатах испытания по линейному изменению напряжения.

7.1.2 Метод анализа шумов

Метод анализа шумов основан на контроле естественных флуктуаций, которые существуют на выходе датчиков давления при действующем технологическом процессе. Эти флуктуации (шумы) обусловлены турбулентностью, вызванной потоком воды в системе, случайной теплопередачей в активной зоне и другими естественными явлениями.

Для проведения испытания регистрируют шумы на выходе каждого датчика давления в цифровой форме в течение приблизительно 1 ч и затем анализируют. Помехи извлекают из выходного сигнала датчика с помощью фильтра верхних частот или механизма смещения постоянным током и используют соответствующую фильтрацию нижних частот, чтобы устранить посторонние шумы и предусмотреть подавление помех. Частота дискретизации должна быть высокой (например, 100 или более выборок в секунду).

До проведения анализа необходим скрининг шумовых данных, чтобы гарантировать вывод результатов испытания времени реакции из соответствующих записей данных. Анализ данных шумов должен включать в себя алгоритм частотной области и/или временной области, разработанный для расчетов времени реакции датчика. Обоснованность анализа должна быть установлена с помощью смоделированных данных, а также фактических данных со станции или из лаборатории от датчиков с известными значениями времени реакции. Результаты валидации также следует использовать для того, чтобы установить погрешность результатов времени реакции, полученных методом анализа шумов. Опыт показывает, что средняя погрешность результатов анализа шумов для испытания времени реакции датчика обычно составляет около ± 10 % значения времени реакции, которое получено анализом шумов, или ± 0,10 с (в зависимости от того, какое значение больше). Такие значения получают при условии, что данные о шумах собирают, выполняют необходимый скрининг и анализируют с помощью утвержденных алгоритмов анализа частотной области и/или временной области.

Если обнаружится, что время реакции датчика давления ухудшилось или время его реакции превышает допустимый предел, то следует в отдельном исследовании определить, исходит ли это превышение от датчика давления или измерительных трубопроводов, или и от того и другого. Если диапазон частот шумов технологического процесса не является белым, то результаты испытания времени реакции могут быть консервативными. В частности, если диапазон частот шумов технологического процесса будет меньше, чем частотная характеристика датчика, то результаты анализа шумов будут превышать время реакции испытуемого датчика.

Метод анализа шумов можно таким же образом использовать для испытания времени реакции термопар и нейтронных детекторов, как для датчиков давления. Как правило, для испытания времени реакции нейтронных детекторов данные шумов необходимо собрать очень быстро (при частоте дискретизации в килогерцовом диапазоне, кГц), но для термопар достаточны более низкие частоты (например, 100 Гц).

Метод анализа шумов нельзя использовать для испытания времени реакции датчиков давления гермооболочки, датчиков уровня жидкости в баке и датчиков с небольшими технологическими шумами или не имеющих их вовсе. Для этих датчиков входные шумовые данные часто могут быть сгенерированы искусственно с помощью генератора механических шумов, включающего в себя преобразователь тока в давление (*I* в *P* или *I*/*P*). *I*/*P*-преобразователь связан с генератором сигналов, который выдает широкополосный случайный шум. *I*/*P*-преобразователь преобразует случайный шум в шумовой сигнал давления, и его используют для испытания времени реакции датчика. Сбор и анализ полученных данных проводят так же, как и для метода анализа шумов, описанного выше.

7.1.3 Проверка на размыкание электроснабжения (РЭ)

В дополнение к методу анализа шумов существует метод, называемый «испытанием на РЭ», который удобен только для натурного испытания времени реакции компенсационных датчиков давления. Для проведения проверки РЭ электроснабжение датчика необходимо выключить на несколько секунд и затем включить. Когда электроснабжение включено, датчик выдает выходной сигнал, который необхо-

димо зарегистрировать в цифровой форме и затем проанализировать, чтобы получить время реакции датчика. Анализ должен включать в себя соответствующий алгоритм, который разработан и утвержден для расчета времени реакции компенсационных датчиков давления методом РЭ.

Проверка РЭ учитывает динамическую характеристику механических и электронных элементов датчика и, таким образом, дает общее время реакции полной электромеханической системы датчика.

7.2 Испытание времени реакции температурных датчиков

Время реакции температурного датчика измеряют в лабораторной среде методом, называемым «испытание с погружением». После того как датчик установлен в оборудовании технологического процесса, время его реакции измеряют с помощью испытания на ступенчатое изменение контурного тока. Требования к проведению этих испытаний на атомной станции представлены ниже. Существуют также дополнительные испытания, такие как метод саморазогрева и метод анализа шумов, которые также описаны ниже.

7.2.1 Испытание с погружением

Испытание с погружением проводят в лабораторной обстановке в воде при низкой температуре (например, от 20 °С до 70 °С). Вода должна течь со скоростью 1 м/с. Датчик погружают из воздуха в воду. Во время погружения выходной сигнал датчика регистрируют, пока он не достигнет установившегося состояния. Время реакции датчика должно быть определено путем измерения времени, соответствующего 63,2 % разности между начальным и конечным стационарными значениями выходного сигнала датчика. Должно быть установлено средство идентификации момента времени, когда датчик входит в воду. Это время должно считаться временем начала испытания с погружением.

Важно отметить, что время реакции температурных датчиков зависит от скорости потока и температуры жидкости, в которой они проходят испытание с погружением. Кроме того, для датчиков, монтируемых в защитной гильзе, время реакции также зависит от качества соединения между рабочим наконечником датчика и его защитной гильзой. В этой связи результаты испытаний с погружением малозначимы относительно времени реакции температурного датчика после его установки на станции. Для того чтобы получить время реакции температурного датчика при рабочих условиях, его необходимо проверить при натурных испытаниях методом ступенчатого изменения контурного тока, описанным ниже.

7.2.2 Испытание методом ступенчатого изменения контурного тока

Испытание реакции на ступенчатое изменение контурного тока (РСКТ) должно использоваться для измерения штатного времени реакции РДТ или термопар в том состоянии, в каком они установлены в рабочем технологическом процессе. Испытание проводят удаленно от шкафов измерительных приборов в зоне пункта управления на таком расстоянии, на котором провода от датчика достигают аппаратуры преобразования сигналов. Испытание РСКТ основано на нагревании датчика электрическим током, который должен быть приложен к концам удлинителей проводов датчика. Для РДТ следует использовать малый постоянный ток (например, от 40 до 80 мА). Для термопар следует использовать переменный ток от 0,2 до 0,6 А. Обычно для испытаний РСКТ и РДТ и термопар нельзя использовать одно и то же оборудование из-за различных требований к испытанию.

Ток вызывает температурный переходный процесс в датчике, который должен быть зарегистрирован в цифровой форме и проанализирован для того, чтобы получить время реакции датчика. Для РДТ данные должны регистрироваться, пока ток идет через РДТ и также по мере того как РДТ нагревается. Для термопар данные должны регистрироваться после того, как ток отключен и термопара остывает до температуры окружающей среды.

Испытание РСКТ учитывает все воздействия установки на время реакции датчика. Учитываются влияние защитной гильзы (в случае ее использования), зазор между датчиком и защитной гильзой и все воздействия режимов технологического процесса, такие, например, как скорость потока жидкости, температура и т. д. Для получения фактического штатного времени реакции датчика испытание РСКТ проводят при нормальном режиме работы или при близких условиях. Это очень важно, поскольку в отличие от датчиков давления время реакции температурных датчиков зависит от температуры, давления и скорости потока жидкости, в которой установлен датчик. Однако когда на станции устанавливают новые датчики, испытания РСКТ допускается проводить при холодном останове, чтобы удостовериться, что датчики установлены надлежащим образом и обеспечат оптимальное качество функционирования по времени реакции, когда станция возобновит работу на мощности. Испытания РСКТ при холодном останове дают результаты, которые сравнивают между датчиками, чтобы идентифицировать выбросы с точки зрения времени реакции. Будет ли идентифицирован выброс или нет, испытание РСКТ должно повторяться на всех недавно установленных датчиках при нормальном режиме или в близких к нормальным условиях

работы, чтобы получить фактическое время реакции датчиков. Выброс — это показание датчика, результаты РСКТ которого значительно отличаются от других резервированных датчиков при тех же условиях установки и технологического режима. С выбросами можно столкнуться по причине неадекватного введения датчика в его защитную гильзу, наличия грязи в защитной гильзе, рассогласования датчика/защитной гильзы и т. д.

Данные РСКТ должны быть проанализированы при помощи математического алгоритма, разработанного на основе теплового анализа датчика и соответствующей модели теплопередачи. Анализ данных РСКТ должен давать в результате значение времени реакции и сообщать о погрешности результатов времени реакции. Погрешность результатов должна основываться не только на погрешности испытательного оборудования, но также на погрешности алгоритма, используемого для определения времени реакции. На основе опыта известно, что погрешность результатов времени реакции для метода РСКТ составляет ± 10 %.

7.2.3 Испытание на саморазогрев

Испытание на саморазогрев дополняет метод РСКТ, но не обеспечивает значения времени реакции. Данное испытание является дополнительным и проводится только для РДТ. При этом испытании количественно измеряют внутренний нагрев РДТ в зависимости от входной электрической мощности (I^2R). Результатом является показатель, который обычно выражается в омах на ватт (Ом/Вт) и называется «индексом саморазогрева» (ИСР) РДТ. Ощутимые изменения ИСР будут являться признаком изменений времени реакции РДТ.

Испытание на саморазогрев проводят с помощью того же оборудования, что и при испытаниях РСКТ.

7.2.4 Анализ шумов

Если цель испытаний времени реакции состоит в том, чтобы контролировать существенные изменения времени реакции относительно эталонного значения или обнаруживать ощутимое ухудшение времени реакции датчика, то можно использовать метод анализа шумов. Однако испытание РСКТ, как правило, обеспечивает более точные результаты и поэтому должно использоваться, если нет большой разницы между приемлемым значением времени реакции и ожидаемым значением времени реакции датчика.

8 Оперативное обнаружение закупоривания и пустот в трубопроводе измерения давления

Системы измерения давления на атомных станциях обычно включают в себя измерительные трубопроводы (также называемые «импульсными линиями») для переноса информации о давлении из технологического процесса на датчик. В зависимости от станции и сопутствующих служб измерительные трубопроводы могут быть длиной от нескольких метров до нескольких сотен метров.

Такие химикаты, как бор и загрязняющие вещества в воде реактора, а также другие факторы влияния могут вызвать на некоторое время закупоривание измерительных трубопроводов. Кроме того, проблемы с отсечными и уравнительными клапанами в измерительных трубопроводах могут привести к частичному закупориванию измерительных трубопроводов, протечкам и другим проблемам.

Закупоривание измерительного трубопровода может увеличить время реакции соответствующего датчика давления. Увеличение времени реакции зависит от податливости датчика. У датчиков, имеющих большую податливость, закупоривание измерительного трубопровода может значительно увеличить время реакции, а у имеющих малую податливость — оказать незначительное влияние на время реакции. Податливость — это величина смещения чувствительного элемента на единицу приложенного давления.

Кроме того, наличие воздуха или газа в трубопроводах измерения давления представляет собой проблему, влияющую на стационарный режим (калибровку) или характеристики времени реакции датчиков давления. В этой связи должны быть проведены испытания для идентификации закупориваний, воздушных пробок и протечек в системах измерения давления. Испытание должно проводиться с помощью метода анализа шумов. Для обнаружения закупоривания или воздушных пробок в трубопроводах измерения давления следует провести выборку данных шумов от затронутого датчика давления в компьютер, проанализировать и сравнить результаты с исходными данными, чтобы определить, образовались ли закупоривания или воздушные пробки в измерительном трубопроводе. Для обнаружения протечек следует вычислить значение дисперсии шумового сигнала и сравнить со значением исходной дисперсии

для тех же или аналогичных датчиков, чтобы определить наличие протечек в измерительном трубопроводе.

В целом, испытание времени реакции датчиков давления, уровня и расхода с помощью метода анализа шумов автоматически будет учитывать влияние любого закупоривания на время реакции датчика, а также поможет идентифицировать воздушные пробки и протечки.

9 Верификация рабочих характеристик нейтронных детекторов

Эксплуатационные характеристики нейтронных детекторов на атомных станциях проверяют методом оперативного контроля и методом анализа шумов практически так же, как характеристики датчиков давления. Как правило, нейтронные детекторы являются быстродействующими, и во время испытания времени реакции к ним обычно не предъявляют строгих требований, которые предъявляются к датчикам температуры и давления, устанавливаемым на атомной станции. В этой связи описанное в настоящем стандарте испытание времени реакции предназначено для верификации рабочих характеристик в целях гарантии того, что динамика детекторов относительно исходного значения времени реакции не изменилась. Фактически для нейтронных детекторов, в дополнение ко времени реакции, следует измерять и отслеживать другие дескрипторы шумовых данных, такие как дисперсия, асимметрия и эксцесс, как средство подтверждения того, что динамика детекторов не претерпела существенных изменений.

Кроме того, эксплуатационные характеристики нейтронных детекторов зависят от технического состояния их кабелей и разъемов. В этой связи для нейтронных детекторов в дополнение к оперативному контролю и натурным измерениям времени реакции должно проводиться испытание кабелей с помощью таких методов, как измерения полного сопротивления и испытание рефлектометрией во временной области (РВО). Эти методы описаны в литературе, указанной в библиографии.

Сочетание оперативного контроля, испытания времени реакции и измерений кабелей совместно обеспечивают эффективные средства определения факта изменений рабочих характеристик нейтронного детектора. Результаты пригодны для управления старением детекторов и установления графиков технического обслуживания и замены детекторов или кабелей.

Приложение А
(справочное)

Взаимная калибровка/взаимная валидация РДТ

А.1 Предисловие

Настоящее приложение содержит информацию о методе взаимной калибровки, который используется на атомных станциях для верификации погрешности измерений температуры резервированными РДТ и термопарами. Термин «взаимная валидация» используется для обозначения метода испытания, описанного ниже. Однако вместо использования термина «взаимная валидация» используется термин «взаимная калибровка», потому что в большинстве ссылок этот метод испытаний именуют как «метод взаимной калибровки». Этот метод используют для верификации того, что калибровка группы резервированных датчиков не изменилась.

А.2 Введение

Взаимная калибровка — это испытание согласованности группы датчиков, которые измеряют один и тот же процесс. Испытание проводят на атомных станциях с целью обеспечения передачи точной информации о температуре в системы управления и безопасности станции. Испытание проводят при одном или более значениях температуры, в том числе при значении температуры, близком к значению температуры при нормальном режиме эксплуатации станции, обеспечивающей оценку погрешности РДТ и термопар при рабочих условиях.

Для того чтобы провести испытание взаимной калибровки, значения сопротивления группы РДТ измеряют при изотермических условиях и преобразуют в соответствующие значения температуры. В качестве варианта просматривают температурные показания РДТ вместо преобразования значения сопротивления в значение температуры. Затем значения температуры усредняют и рассчитывают отклонение значения каждого отдельного РДТ от средней температуры. Любое значение показаний РДТ, превышающее предварительно заданный критерий отклонения (например, ± 0,3 °С), удаляют из среднего значения и процесс повторяют по мере необходимости, чтобы идентифицировать все РДТ, которые не соответствуют критериям отклонения. РДТ, которые не соответствуют по критериям отклонения, называют «выбросами» и либо заменяют недавно калиброванными РДТ, либо их калибровки корректируют с помощью данных взаимной калибровки, чтобы привести их в соответствие с другими резервированными РДТ в группе. Коррекцию калибровки выброса можно выполнить, если были проведены испытания взаимной калибровки при трех или более далеко отстоящих температурах. Затем данные взаимной калибровки подставляют в калибровочную характеристику РДТ, чтобы получить новые калибровочные постоянные для РДТ-выброса.

Правомерность и погрешность метода взаимной калибровки зависят от погрешности калибровочных таблиц РДТ, а также от устойчивости и однородности температуры станции во время проведения испытаний взаимной калибровки.

Испытание взаимной калибровки допускается проводить в условиях линейного нарастания температуры или температурного плато во время расхолаживания станции в начале периода простоя или во время разогрева станции при выходе из ППР. Было показано, что испытание при условиях плато или линейного изменения обеспечивает эквивалентные результаты взаимной калибровки. Однако испытание при условиях линейного изменения температуры имеет преимущества, поскольку оно не требует удержания станции в состоянии плато для проведения испытания.

Испытание взаимной калибровки допускается проводить с использованием специализированной системы сбора данных, которая для этого предназначена, или с помощью данных станционного компьютера.

А.3 Калибровочная характеристика РДТ

Наиболее часто используемое уравнение для преобразования значений сопротивления платинового РДТ в значения температуры — это уравнение Каллендара. Для температур выше 0 °С уравнение Каллендара записывается следующим образом:

$$R(T) = R_0\left[1+\alpha\left(T-\delta\left(\frac{T}{100\ ^\circ\mathrm{C}}\right)^2\left(\frac{T}{100\ ^\circ\mathrm{C}}-1\right)\right)\right], \quad (1)$$

где T — температура, °С;

R_0 — сопротивление при температуре 0 °С, Ом;

α — константа, Ом/Ом/°С,

δ — константа, °С,

$R(T)$ — сопротивление при произвольной температуре T.

Члены R_0, α и δ называются константами уравнения Каллендара. α — это средний температурный коэффициент сопротивления в интервале от 0 °С до 100 °С, а δ — это индекс отклонения кривой сопротивления от прямой линии в зависимости от температуры. Эти две константы так же, как R_0, для каждого РДТ определяют путем калибровки РДТ в термостатической ванне в лаборатории. Как только эти три константы определены, их подставляют в

вышеупомянутое уравнение, чтобы получить калибровочную таблицу для этого РДТ. Альтернативой уравнению Каллендара является формула квадратного уравнения $R(T) = R_0 (1 + AT + BT^2)$, где R_0, A и B являются константами, которые выводятся из подстановки калибровочных данных в квадратичную формулу. Квадратичная формула и уравнение Каллендара эквивалентны.

А.4 Процедура взаимной калибровки

Испытания взаимной калибровки проводят с помощью системы опроса датчиков и прецизионного цифрового универсального измерительного прибора по следующей общей процедуре:

шаг 1 — поочередно проходят по всем датчикам, измеряя их выходные сигналы, и преобразовывают в эквивалентные температуры. Этот шаг приводит к получению одного прохода взаимной калибровки. В качестве варианта на этом шаге можно зарегистрировать температурные показания РДТ.

шаг 2 — повторяют шаг 1 до получения четырех проходов;

шаг 3 — усредняют значения четырех температурных измерений для каждого датчика. Полученное значение используется как температурное показание каждого датчика, включенного в испытание взаимной калибровки;

шаг 4 — усредняют температурные показания в соответствии с шагом 3 для всех РДТ;

шаг 5 — вычитают среднее значение температуры, определенной на шаге 4, из температурных показаний каждого датчика при шаге 3. Полученные разности температур называют «отклонениями датчиков».

шаг 6 — если отклонение какого-либо элемента РДТ превышает критерии приемлемости (например, ± 0,3 °С), удаляют результат измерения элемента из данных и повторяют с шага 4, чтобы получить новое среднее значение температуры;

шаг 7 — повторяют шаг 6, пока из среднего значения не будут удалены все элементы РДТ, имеющие большие отклонения, чем критерии приемлемости (например, ± 0,3 °С).

При испытании РДТ на станциях с реактором с водяным охлаждением под давлением перечисленные шаги соблюдают для РДТ узкого диапазона. РДТ широкого диапазона и термопары на выходе из активной зоны обычно взаимно калибруют по среднему значению РДТ узкого диапазона.

А.5 Подробный анализ данных взаимной калибровки

Подробный анализ данных взаимной калибровки включает в себя численные алгоритмы для учета любых существенных температурных нестабильности и неоднородности, которые могли существовать на станции, когда проводились испытания взаимной калибровки. Как только эти поправки введены, данные взаимной калибровки можно повторно проанализировать и получить окончательные результаты, как описано в следующих подпунктах.

А.5.1 Поправка данных взаимной калибровки

Взаимная калибровка РДТ на станции основана на допущении, что при изотермических условиях атомной станции средняя температура достаточного числа резервированных РДТ отражает истинную температуру технологического процесса. Существуют несколько возможных причин, которые могут повлиять на правомерность этого предположения:

1) погрешности в таблицах сопротивления в зависимости от температуры, которые используются в испытаниях взаимной калибровки для преобразования сопротивления РДТ в температуру;

2) систематический дрейф показаний при калибровке РДТ; может произойти, если все РДТ дрейфуют вместе в одном направлении вверх или вниз;

3) флуктуации и дрейф температуры теплоносителя первого контура, которые могли возникнуть при взятии данных взаимной калибровки на станции;

4) температурная неоднородность между различными РДТ. Так как метод взаимной калибровки предполагает, что все РДТ находятся при одной и той же температуре, любое существенное отклонение от этого предположения может вызвать погрешности в результатах испытаний взаимной калибровки.

При испытании взаимной калибровки группы РДТ, которые использовались на электростанции в течение одного или более топливных циклов, упомянутые выше перечисления 1) и 2) можно учесть путем изъятия и калибровки в лаборатории одного или более РДТ со станции. Другой вариант — заменить один из РДТ вновь откалиброванным РДТ и повторить испытания взаимной калибровки в конце периода простоя, когда атомная станция разогревается для работы на мощности.

Другой способ исключить возможность по перечислению 2) — состоит в том, чтобы проанализировать зависимости от экспериментальных данных, которые показывают, что дрейф показаний группы РДТ ядерного класса является преимущественно случайным, а не систематическим, и поэтому маловероятно, что появятся систематические ошибки в результатах испытаний взаимной калибровки, за исключением смещения в испытательном оборудовании взаимной калибровки.

Проблемы, упомянутые в перечислениях 3) и 4), можно решить, реализуя численные методы для поправки данных взаимной калибровки на нестабильность температуры станции и температурной неоднородности, как описано ниже.

А.5.2 Поправка на нестабильность температуры станции

Температурные флуктуации или дрейф показаний во время испытаний взаимной калибровки возникают почти всегда, потому что практически невозможно постоянно поддерживать температуру станции в установившемся режиме. Метод, используемый для поправок на температурную нестабильность, зависит от условий на атомной станции, при которых данные были получены. Если температура станции изменяется с медленной и постоянной скоростью, то используют сбор данных по линейному изменению. Сбор данных по линейному изменению автоматически компенсирует изменения температуры атомной станции, пока идет сбор данных. Если станция поддерживается при устойчивых изотермических условиях, то используется сбор данных на плато и флуктуации температуры станции компенсируются при подробном анализе.

Во время сбора данных по линейному изменению учитывают изменения постоянной температуры, проводя выборку РДТ в обратном порядке при втором и четвертом проходах выполняемого прогона взаимной калибровки. Например, при наличии 24 РДТ порядок выборки для четырех проходов будет следующий. с 1-го по 24-й, с 24-го по 1-й, с 1-го по 24-й и с 24-го по 1-й. Перемена направления порядка выборки инвертирует эффект линейного изменения температуры так, что после усреднения всех четырех проходов погрешности компенсируются.

При сборе данных на плато необходимость компенсировать линейное изменение постоянной температуры меньше; следовательно, большее значение придается краткосрочным флуктуациям, что имеет существенное значение из-за изменений в отводе тепла, которые часто призваны удерживать станцию при заданной температуре. В этом случае выборка РДТ проводится в одной и той же последовательности для каждого прохода, что делает краткосрочные флуктуации более очевидными.

Для того чтобы минимизировать влияние флуктуаций температуры станции на результаты взаимной калибровки, вычисляют стандартное отклонение флуктуаций в данных взаимной калибровки для каждого прогона после осуществления вышеупомянутых поправок на нестабильность. Если это стандартное отклонение превышает критерии приемлемости, то прогон отклоняется.

А.5.3 Поправка на неоднородность температуры станции

Данная поправка предназначена для учета значительных расхождений, которые могли существовать во время станционных испытаний взаимной калибровки между температурами горячей и холодной ниток в каждом контуре или по всему реактору. Эти расхождения могут возникать из-за неполного перемешивания теплоносителя реактора или расхождений в теплоотводе парогенераторов.

Если значительных расхождений температуры нет, то нет необходимости в поправке на неоднородность. Если существует проблема неоднородности, то в данные вводится поправка на температурные расхождения между РДТ горячей и холодной ниток или на температурные расхождения между контурами теплоносителя реактора в зависимости от ситуации.

А.5.4 Результаты взаимной калибровки после поправок на нестабильность и неоднородность

После поправки первоначальных данных взаимной калибровки при наличии необходимости на какую-либо нестабильность и неоднородность данные повторно анализируют, чтобы получить окончательные исправленные результаты.

А.6 Динамическая взаимная калибровка

Испытание взаимной калибровки может проводиться при условиях температурных плато либо линейного изменения температуры. Условие линейного изменения температуры обычно лучше, потому что оно экономит время критического пути. Это условие также лучше, потому что температурные флуктуации обычно меньше при условиях линейного изменения, чем при условиях плато. Конечно, скорость линейного изменения должна быть достаточно медленной и почти постоянной во время сбора данных для взаимной калибровки. Испытание взаимной калибровки, которое выполняется в условиях линейного изменения температуры при разогреве или расхолаживании станции, называется «динамической взаимной калибровкой».

А.7 Устранение выбросов

РДТ-выброс можно заменить либо создать для выброса новую калибровочную таблицу, используя данные взаимной калибровки, при условии, что в группе РДТ, калиброванных вместе, выбросов немного. Далее, если один и тот же РДТ неоднократно идентифицируется как выброс, его следует заменить.

Для получения новой калибровочной таблицы для РДТ-выброса данные сопротивления в зависимости от температуры, полученные в испытании взаимной калибровки, подставляют в уравнение Каллендара или квадратичную формулу, а результаты подстановки используют для создания новой калибровочной таблицы для РДТ. Данные для этого должны включать в себя как минимум три широко отстоящие друг от друга температурные точки, при этом одна температурная точка должна находиться около нижнего края температурного интервала, для которого используется РДТ, а другая — у верхнего края температурного интервала, для которого используется РДТ.

Приложение В
(справочное)

Оперативный контроль калибровки

В.1 Введение

Калибровка технологических измерительных каналов на атомных станциях может контролироваться на наличие дрейфа показаний при работе станции. Это новый подход к верификации калибровки измерительных приборов на атомных станциях, который называется «оперативным контролем калибровки», «сокращением калибровки», «продлением интервала калибровки» и т. д. Хотя этот метод применим к большинству измерительных приборов, главный интерес представляет применение этого подхода для датчиков давления, поскольку датчики давления на атомных станциях часто труднее калибровать, чем другие измерительные приборы. Кроме того, опыт показал, что большинство датчиков давления ядерного класса сохраняет свою калибровку в течение длительных промежутков времени. В этой связи частоту калибровки датчиков давления можно продлить за пределы традиционного интервала, т. е. однократно каждый топливный цикл. Метод оперативного контроля позволяет контролировать выходные сигналы датчиков давления на наличие дрейфа показаний и определять, должен ли датчик быть откалиброван.

В.2 Требования к системе оперативного контроля

Оперативный контроль калибровки требует наличия программы, процедуры или системы многоканального сбора, квалификации, анализа данных и интерпретации результатов. Система оперативного контроля должна проводить выборку и обработку многочисленных сигналов измерительных приборов. Она должна также обрабатывать данные и представлять результаты в графической или иных формах, чтобы сравнивать с предопределенными критериями приемки для идентификации измерительных приборов, которые остаются в пределах калибровки, и отделять те измерительные приборы, которые превышают критерии приемки.

Нет необходимости, чтобы система обрабатывала данные в режиме реального времени, пока у системы есть адекватные возможности хранения данных для последующего анализа. Для выборки необходимых данных может использоваться станционный компьютер или другие существующие или установленные системы сбора данных на атомной станции. Выборку и анализ данных можно проводить на одном и том же компьютере или на двух различных компьютерах. Обычно необходимые данные содержатся в станционном компьютере, и в этом случае данные обычно сохраняют на накопителях данных и анализируют в автономном режиме. Когда в станционном компьютере имеются данные оперативного контроля, то необходимо лишь программное обеспечение, чтобы забирать данные от станции, анализировать их и строить графики или печатать результаты.

В.3 Учет систематических ошибок и дрейфа общего типа

В данных оперативного контроля калибровки могут существовать общий дрейф показаний или систематические ошибки, их необходимо должным образом учитывать. Эти ошибки могут быть обусловлены нормальными различиями калибровки между измерительными приборами, различными расположениями контрольных точек и т. д. Кроме того, показания резервированных измерительных приборов могут дрейфовать вверх или вниз все вместе, не позволяя отличать дрейф показаний. Эти проблемы можно решать рядом методов, включая:

a) калибрование одного из резервированных каналов на ротационной основе, чтобы все резервированные каналы периодически калибровались вручную, и/или

b) использование аналитического моделирования технологического процесса, чтобы отслеживать процесс независимо от проверяемого измерительного прибора и установить опорную точку для оперативного контроля калибровки.

Последний метод включает в себя многочисленные методы, большинство которых описано в публикациях, перечисленных в библиографии настоящего стандарта.

В.4 Проблема точечного мониторинга

Еще одна важная проблема метода оперативного контроля — «проблема точечного мониторинга». Конкретнее, если данные оперативного контроля собирают только во время нормальной эксплуатации атомной станции, то анализ этих данных лишь удостоверяет калибровку измерительных приборов в контролируемой точке. Для того чтобы проверить калибровку измерительных приборов в других точках по всему их рабочему диапазону, данные оперативного контроля необходимо собирать не только при нормальной эксплуатации, но также и во время периодов пуска и останова. Если это невозможно, то метод оперативного контроля все же приемлем, но допустимые пределы калибровки должны быть уменьшены на определенный запас для точечного мониторинга, как в библиографии.

В.5 Частота сбора данных

Специфических требований к частоте дискретизации данных оперативного контроля или типу оборудования, которое можно использовать, не существует. Варианты варьируются от очень редкого сбора данных (т. е. несколько

раз в течение цикла) до непрерывной выборки данных с помощью станционного компьютера или специализированной системы сбора данных. Однако если должен использоваться какой-либо метод моделирования, то потребуется компьютерный сбор данных при относительно высоких частотах выборки. Кроме того, возможно, что выборку сигналов, моделируемых совместно, придется проводить одновременно.

В.6 Анализ данных

Данные оперативного контроля могут быть выбраны из станционного компьютера, других станционных систем, специализированной системы сбора данных, используемой для сбора данных или их комбинации. Независимо от того, выбираются ли данные из станционного компьютера или посредством специализированной системы сбора данных, сначала следует использовать алгоритм квалификации данных, чтобы отсортировать данные на предмет аномалий, таких как отсутствие частных значений, отсутствие сигналов, нормальное распределение и т. д. После того как данные отсортированы, определены и аттестованы, их следует проанализировать с использованием методов усреднения и/или моделирования. Методы усреднения могут быть адекватны, если доступны резервированные сигналы (более двух). Примерами методов усреднения, которые можно использовать, могут служить: прямое усреднение, средневзвешенное усреднение, паритетное пространство, усреднение по диапазону и т. д. Выбор метода усреднения часто зависит от типа и резервирования данных. Возможно, придется использовать различные методы усреднения для обработки различных сервисов даже на одной и той же станции.

Что касается методов моделирования, можно использовать эмпирическое и/или физическое моделирование. Существует ряд способов использовать эмпирическое моделирование, включая нейронные сети, распознавание образов, нечеткую группировку данных в сочетании с нейронными сетями и т. д. Эти методы описаны в библиографии

Приложение С
(справочное)

Методы испытаний времени реакции для датчиков давления и нейтронных детекторов

С.1 Введение

Методы испытания времени реакции для датчиков давления можно разделить на две группы испытаний:

a) традиционный метод, который применялся с тех пор, как начались испытания в середине 70-х гг. прошлого века, и

b) оперативные методы, которые основаны на новых технологиях, разработанных и утвержденных в середине 80-х гг. прошлого века. Преимущество оперативных методов состоит в том, что они допускают дистанционное испытание при нормальных рабочих условиях, тогда как традиционный метод требует физического доступа к каждому преобразователю и обычно не может применяться во время работы атомной станции. Краткое описание традиционных и оперативных методов приведено ниже. Более подробную информацию читатель может получить в библиографии. Также в настоящее приложение включено описание метода анализа шумов для удостоверения того, что в трубопроводах измерения давления нет существенных закупорок, воздушных пробок или протечек.

С.2 Традиционный метод

Традиционный метод испытания времени реакции датчиков давления включает в себя гидравлический генератор давления для выдачи тестового сигнала в форме ступеньки или линейного изменения. Испытание с линейным изменением используется чаще, чем испытание со ступенчатым сигналом, потому что проектные аварии на атомных станциях обычно предполагают переходные процессы с линейным изменением давления.

Тестовый сигнал давления, сгенерированный гидравлическим генератором пилообразного напряжения, подается на испытуемый датчик и одновременно на высокоскоростной эталонный датчик. Выходные сигналы этих двух датчиков регистрируют на двухканальном устройстве регистрации и используют для определения времени реакции датчика.

В данном испытании время реакции датчика давления обычно определяется как запаздывание между реакцией эталонного датчика и испытуемого датчика при прохождении через уставку.

С.3 Оперативные методы

Разработаны и утверждены два метода натурного испытания времени реакции датчиков давления в том виде, в каком они установлены в рабочих технологических процессах, — «метод анализа шумов» и «испытание РЭ». Метод анализа шумов может использоваться для испытания времени реакции большинства датчиков давления, но испытание РЭ применимо только к датчикам давления компенсационного типа. Датчики давления компенсационного типа также могут испытываться методом анализа шумов, но испытание РЭ используется чаще, чем метод анализа шумов, потому что испытание РЭ подразумевает более простую процедуру. Конкретнее, для выполнения испытания РЭ электропитание на датчик выключают на несколько секунд и затем снова включают, тогда как выходной сигнал датчика регистрируется. В результате испытания получают выходной сигнал переходного процесса, который затем анализируют, чтобы определить время реакции датчика. Анализ включает в себя изъятие экспоненциальной составляющей данных из переходного процесса испытания РЭ и анализ этой экспоненциальной составляющей, для того чтобы получить время реакции. Изъятие экспоненциальной составляющей обычно проводят численным методом, а анализ экспоненциальной составляющей — с помощью алгоритма аппроксимации методом наименьших квадратов.

Метод анализа шумов основан на контроле естественных флуктуаций, которые существуют на выходе датчиков давления, в то время как станция работает. Эти флуктуации (шумы) обычно обусловлены турбулентностью, вызванной потоком воды в системе, случайной теплопередачей в активной зоне и другими естественными явлениями. Из выходного сигнала датчика извлекают шумы, удаляя постоянную составляющую сигнала и усиливая переменную составляющую. Постоянную составляющую удаляют, проводя выходной сигнал датчика через фильтр верхних частот или путем сдвига смещения сигнала постоянным током. Данный процесс оставляет переменную составляющую, которую проводят через фильтр нижних частот для сглаживания и удаления высокочастотных электрических шумов. Затем сигнал оцифровывают с помощью аналого-цифрового преобразователя и сохраняют на компьютерных дисках для последующего анализа.

Анализ шумовых данных проводят в частотной области и/или временной области, и он основан на допущении, что динамические характеристики датчика линейны, а входной шумовой сигнал (то есть технологические флуктуации) имеет надлежащие спектральные характеристики. Анализы в частотной области и временной области — это два различных метода для определения времени реакции датчиков, и обычно полезно проанализировать данные обоими методами и усреднить результаты, исключая любые выбросы. Ниже следуют описания анализа шумовых данных в частотной области и временной области для определения времени реакции датчиков давления.

С.3.1 Анализ частотной области

В анализе частотной области сначала генерируется спектральная плотность мощности (СПМ) шумового сигнала, обычно с помощью алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ), что включает в себя передачу записи шумовых данных в стандартный программный пакет БПФ для того, чтобы получить на выходе СПМ. Конечно, все пакеты программ, используемые для генерации СПМ и другого анализа, должны сначала быть проверены и утверждены в соответствии с формальной программой обеспечения качества (ОК), которая включает в себя формальные процедуры разработки программного обеспечения и программу верификации и валидации (ВиВ) программного обеспечения. После того как получена СПМ, математическая функция (модель), подходящая для испытываемого датчика, аппроксимируется к СПМ для получения параметров модели, которые затем используются для расчета времени реакции датчика.

СПМ датчиков давления атомной станции имеют различные формы в зависимости от станции, установки и обслуживания датчика, технологического режима и других воздействий.

С.3.2 Анализ временной области

Для анализа временной области шумовых данных используется метод авторегрессивного (АР) моделирования. Запись шумовых данных для каждого датчика аппроксимируется к общей авторегрессивной модели порядка «*n*». Аппроксимация записи шумовых данных определит коэффициенты модели. Эти коэффициенты затем используются для получения таких динамических дескрипторов, как реакция датчиков на импульс, реакция на скачок и реакция на линейно-нарастающий сигнал, из которых выводят время реакции.

Обоснованность метода анализа шумов была исследована лабораторным испытанием репрезентативных датчиков типов, используемых на атомных станциях.

До начала любого анализа временной области или частотной области необходимо исследовать пригодность шумовых данных компьютерным сканированием и скринингом необработанных данных, чтобы гарантировать достоверный анализ, что достигается путем использования алгоритмов квалификации данных на стационарность и линейность данных. Данный процесс включает в себя построение графика амплитудной плотности вероятности (АПВ) данных для визуального контроля перекоса и нелинейности, а также расчет перекоса, уплощенности или других дескрипторов шумовых данных, чтобы гарантировать, что эти данные имеют нормальное распределение и не содержат нежелательных характеристик.

С.4 Испытание измерительных трубопроводов

Измерительные трубопроводы могут пострадать от частичных или полных закупориваний, скопления воздушных пробок, протечек и отказов уравнительных, отсечных или других клапанов, которые могут быть размещены вдоль измерительных трубопроводов. Для защиты от этих проблем и гарантии чистоты измерительного трубопровода следует использовать метод анализа шумов, как описано ранее для испытания времени реакции датчиков давления. Любая существенная закупорка или иные аномалии в трубопроводе измерения давления наиболее вероятно проявят себя в результатах испытания времени реакции датчиков давления при помощи метода анализа шумов.

С.5 Испытание времени реакции нейтронных детекторов

Испытание времени реакции нейтронных детекторов допускается проводить с помощью метода анализа шумов почти таким же способом, как для датчиков давления. Обычно время реакции нейтронных детекторов настолько краткое, что результаты анализа шумов чаще представляют динамику процесса, чем время реакции детектора. Тем не менее если есть существенное изменение времени реакции нейтронного детектора, то измерение анализа шумов должно выявить проблему. То есть анализ шумов должен идентифицировать ощутимые изменения динамики детектора, несмотря на возможность того, что диапазон частот входного шумового сигнала может не быть адекватным.

В дополнение ко времени реакции для нейтронных детекторов следует определить и отследить дескрипторы шумов, такие как дисперсия, перекос, АПВ и эксцесс как средство контроля изменений рабочих характеристик детектора.

Приложение D
(справочное)

Методы испытаний времени реакции для РДТ

D.1 Введение

Измерения времени реакции проводят на РДТ системы безопасности на атомных станциях, чтобы гарантировать, что станция может быть своевременно остановлена в случае мощного температурного переходного процесса в реакторе. В реакторах с охлаждением водой под давлением (ВВЭР) РДТ теплоносителя первого контура, которые входят в систему безопасности станции, обычно испытывают однократно каждый топливный цикл или примерно каждые 18—24 месяца. Кроме того, каждый раз после замены или ремонта РДТ измеряют время его реакции, прежде чем станция возобновит работу на мощности.

Так как время реакции РДТ зависит от температуры технологического процесса, давления и расхода во время работы, измерения времени реакции должны быть проведены при нормальных условиях работы или близких к ним, чтобы получить время реакции датчиков в условиях эксплуатации. С этой целью в конце 70-х годов прошлого века был разработан метод измерения времени реакции на ступенчатое изменение контурного тока (РСКТ), который с тех пор использовался на многочисленных атомных станциях во всем мире, чтобы удовлетворить требования к испытаниям времени реакции.

D.2 Краткая информация

Испытание РДТ на атомных станциях началось в 1978 г., после того как был утвержден метод РСКТ и были разработаны серийное испытательное оборудование, обучение и процедуры РСКТ. До 1978 г. немногие станции выполняли испытания времени реакции РДТ, а испытания обычно проводились с использованием метода испытания с погружением. Испытание с погружением включает изъятие РДТ со станции и их испытание в лабораторной среде. Во время разработки метода РСКТ в середине 70-х годов прошлого века было определено, что метод испытания с погружением не действителен для испытания времени реакции РДТ атомной станции. В этой связи ядерная промышленность постепенно отказалась от этого метода, за исключением лабораторных квалификационных испытаний новых РДТ и защитных гильз для их установки на станции.

D.3 Методы испытаний времени реакции РДТ

D.3.1 Описание испытания с погружением

Время реакции температурного датчика обычно измеряется в лабораторной среде методом испытания с погружением. При этом испытании датчик подвергают внезапному изменению температуры, а его выходной сигнал регистрируют, пока он не достигнет установившегося состояния.

Анализ испытания с погружением для получения времени реакции датчика очень прост. Например, если переходный процесс выходного сигнала датчика регистрируется в регистраторе, то время реакции определяется измерением времени, при котором выходной сигнал датчика достигает 63,2 % своего конечного установившегося значения. Следует отметить, что, хотя определение времени реакции аналитически значимо только для системы первого порядка, оно традиционно используется для определения времени реакции большинства температурных датчиков независимо от их динамических характеристик. По этой причине термины «время реакции» и «постоянная времени» часто используются взаимозаменяемо для описания динамических характеристик РДТ даже при том, что термин «постоянная времени» относится только к системе первого порядка.

Время реакции РДТ, полученное методом испытания с погружением, — это относительный показатель, который должен сопровождаться описанием условий, при которых РДТ испытывался. Это важно, потому что время реакции РДТ сильно зависит от свойств конечной среды, в которую их погружают. Тип среды (воздух, вода и т. д.) и ее скорость, температура и давление всегда должны указываться с результатами времени реакции. Скорость жидкости — обычно самый важный фактор, за которым по важности следуют температура и давление. Эти параметры влияют на коэффициент теплопередачи пленки на поверхности датчика, который связан со временем реакции. Более высокие скорости жидкости увеличивают коэффициент теплопередачи пленки на поверхности датчика и уменьшают время реакции. Температура, однако, оказывает смешанное влияние. С одной стороны, температура действует так же, как скорость жидкости, то есть она увеличивает коэффициент теплопередачи пленки и уменьшает время реакции. С другой стороны, высокие температуры могут влиять на свойства материалов внутри датчика и либо увеличивать, либо уменьшать время реакции. Давление обычно не оказывает существенного эффекта на время реакции датчика, за исключением его влияния на свойства жидкости, которые управляют коэффициентом теплопередачи поверхности.

В дополнение к влиянию технологических условий на время реакции РДТ обычно воздействует установка РДТ в технологическом процессе. Влияние установки особенно важно для РДТ, укрепленных в термокармане, в

которых каждый мил воздушного зазора в месте сопряжения РДТ — термокарман может оказать существенное влияние на время реакции сборки РДТ — защитная гильза. (Мил равен 1/1000 дюйма, или 0,0254 мм.)

D.3.2 Описание испытания РСКТ

Так как на время реакции температурного датчика сильно влияют технологические условия и тип установки, лабораторные измерения, такие, например, как испытания с погружением в эталонных условиях, не могут обеспечить точную информацию о времени реакции датчика «в условиях эксплуатации». Поэтому должен применяться натурный метод, которым можно воспользоваться в рабочем технологическом режиме. Метод РСКТ был разработан, чтобы обеспечить возможность натурных испытаний времени реакции, которые необходимы, чтобы измерить время реакции в условиях эксплуатации РДТ, установленных в рабочих технологических процессах.

Испытание РСКТ выполняют, соединяя РДТ с одним контактом моста Уитстона и изменяя ток моста от нескольких миллиампер приблизительно до 40—80 мА. Ступенчатое изменение тока дает нагрев джоулевым теплом в элементе РДТ и заставляет его сопротивление меняться пропорционально способности РДТ рассеивать теплоту в окружающую среду. Переходное изменение сопротивления РДТ образует сигнал переходного напряжения на выходе моста Уитстона, который называют «переходным процессом РСКТ» или «данными РСКТ для РДТ». Данный переходный процесс затем анализируют, чтобы получить время реакции РДТ при испытанных условиях. Данный анализ включает в себя алгоритм математической аппроксимации для преобразования данных РСКТ для получения переходной характеристики РДТ на ступенчатое изменение температуры жидкости вне РДТ.

Преимущество испытания РСКТ состоит в том, что оно разрешает оперативное испытание установленных РДТ вне гермооболочки реактора и обеспечивает фактическое время реакции РДТ «в условиях эксплуатации». Испытание учитывает все влияния установки на время реакции РДТ, включая влияние термокармана (если используется), посадки между РДТ и защитной гильзой и всех влияний технологических условий, таких как температура технологического процесса, давление и скорость потока жидкости.

Любой тип или модель РДТ, которые подлежат испытанию методом РСКТ, должны быть сначала квалифицированы. Квалификация включает в себя ряд лабораторных испытаний для верификации того, что метод РСКТ действителен для измерения времени реакции РДТ и установления погрешности результатов времени реакции для конкретной конструкции РДТ. Если РДТ монтируется в защитной гильзе, то должна быть проведена валидация РСКТ с РДТ, установленным в своей защитной гильзе. Квалификация РДТ методом РСКТ необходима, потому что обоснованность метода РСКТ зависит от конкретных допущений к характеристикам теплопередачи РДТ, которые должны быть удовлетворены, с тем чтобы гарантировать получение точных результатов методом РСКТ. На основе результатов лабораторных валидационных испытаний многочисленных РДТ средняя погрешность метода РСКТ была установлена на уровне ± 10 %. То есть метод РСКТ обычно обеспечивает результаты времени реакции, которые находятся в пределах ± 10 % фактического времени реакции РДТ.

D.3.3 Описание испытания саморазогрева

Испытание саморазогрева проводят на РДТ с помощью того же оборудования, что и для испытания РСКТ. Для испытания саморазогрева сначала используется малый ток (например, 5 мА) для нагрева чувствительного элемента РДТ. Ток остается подключенным, пока сопротивление РДТ не стабилизируется. Затем это сопротивление R измеряют и вычисляют мощность через РДТ по уравнению $P = I^2R$. Этот шаг повторяют с более высокими значениями тока до 40—80 мА, чтобы получить три или более частных значений, и результаты сводят в таблицу, указывая сопротивления РДТ при каждом токе в зависимости от электрической мощности, вырабатываемой в РДТ. Затем эта информация выводится в виде графика как R в зависимости от P, и результат (который должен представлять собой прямую линию) называют «кривой саморазогрева» РДТ. Градиент кривой саморазогрева называют «индексом саморазогрева» (ИСР), измеряют в омах/ваттах (Ом/Вт), и он является параметром, представляющим интерес в данном испытании. ИСР — это индекс, соответствующий теплопередаче РДТ. Значение ИСР изменяется, если есть существенное изменение теплопередачи РДТ (то есть времени реакции). Это испытание не заменяет испытание методом РСКТ или испытание методом анализа шумов для получения времени реакции РДТ, поскольку не определяет время реакции РДТ.

D.3.4 Метод анализа шумов

Метод анализа шумов допускается использовать для определения ухудшения времени реакции РДТ (см. описание этого метода в приложении С). Преимущество метода анализа шумов состоит в том, что он не требует изъятия РДТ из работы во время испытания и одновременно допускает испытание многих РДТ. Если с помощью метода анализа шумов обнаружено, что у РДТ наступило ухудшение времени реакции, то следует использовать метод РСКТ для измерения времени его реакции для оценки степени ухудшения и определения того, отвечает ли РДТ требованиям ко времени реакции.

D.4 Испытание времени реакции термопар

Время реакции термопар измеряют в лаборатории при помощи той же процедуры, что и для РДТ (то есть испытание проводят с погружением в воду комнатной температуры, текущей со скоростью 1 м/с). Для натурного испытания времени реакции термопар применяют либо метод РСКТ, либо метод анализа шумов. Испытание РСКТ для

термопар требует иного комплекта испытательного оборудования, чем для РДТ. В частности, время реакции термопар определяют методом РСКТ, используя переменный ток порядка 0,2—0,6 А. Это намного больший ток, чем при испытании РСКТ для РДТ. Причиной использования переменного тока для испытаний РСКТ термопар является эффект Пельтье. Причина использования тока намного более высокого уровня состоит в том, что сопротивление термопар распределено вдоль их соединительных проводов в противоположность РДТ, сопротивление которых сконцентрировано на их рабочем наконечнике. Поскольку ток РСКТ нагревает весь провод термопары, есть опасение, что нагрев может повлиять на удлинительные провода термопары и герметичность. Поэтому на станциях, где существует риск нагрева проводов термопар, измерения времени реакции проводят с помощью метода анализа шумов. Метод анализа шумов применяют на термопарах так же, как для датчиков давления, описанных ранее в настоящем стандарте.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 61224	—	*
МЭК 62397	—	*
* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.		

Библиография*

[1] NUREG/CR-5560:1990 Aging of Nuclear Plant Resistance Temperature Detectors, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

[2] NUREG/CR-5851:1993 Long Term Performance and Aging Characteristics of Nuclear Plant Pressure Transmitters, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

[3] NUREG/CR-6343:1995 Online Testing of Calibration of Process Instrumentation Channels in Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

[4] NUREG/CR-5501:1998 Advanced Instrumentation and Maintenance Technologies for Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

[5] TR-104965-R1 NRC SER:2000 On-Line Monitoring of Instrument Channel Performance, Electric Power Research Institute (EPRI), Palo A
Ito, CA, USA

[6] TECDOC-1147:2000 Management of Aging of I&C Equipment in Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, June 2000

[7] H.M. Hashemian, I&C Aging Management Standards, 13th Annual Joint ISA POWID/EPRI Control and Instrumentation Conference, Williamsburg, Virginia, June 15—20, 2003

[8] TECDOC-1402, Management of Life Cycle and Aging at Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, August 2004

[9] Sensor Performance and Reliability, book published by Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), 2005

* В публикациях, представленных в библиографии, изложены подробные сведения о требованиях и методах, идентифицированных в настоящем стандарте.

УДК 621.311.25:006.354 ОКС 27.120.20

Ключевые слова: атомная станция; контроль и управление, важные для безопасности; измерительный канал системы безопасности; рабочие характеристики, температура, давление, уровень жидкости, скорость потока жидкости и плотность нейтронного потока

Редактор *П.М. Смирнов*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *Ю.М. Прокофьева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 09.04.2013. Подписано в печать 15.05.2013. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,80. Тираж 83 экз. Зак. 481.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru