ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 50.05.20— 2019

Система оценки соответствия в области использования атомной энергии

КОНТРОЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Порядок обоснования объемов и периодичности

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 апреля 2019 г. № 122-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, оформление, 2019

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 2
5 Порядок обоснования объемов неразрушающего контроля 3
6 Порядок обоснования объемов неразрушающего контроля с учетом показателей риска 3
7 Порядок назначения периодичности контроля 15
Приложение А (справочное) Методика расчета вероятности разрушения трубопроводов 17
Библиография 25

Введение

Стандарт предназначен для юридических и физических лиц, осуществляющих проектирование и эксплуатацию оборудования и трубопроводов, на которые распространяются Федеральные нормы и правила [1]—[4].

Настоящий стандарт основан на подходах к анализу рисков, изложенных в [5].

Настоящий стандарт взаимосвязан с другими стандартами, входящими в систему стандартов «Система оценки соответствия в области использования атомной энергии».

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Система оценки соответствия в области использования атомной энергии

КОНТРОЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТАЛЛА ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Порядок обоснования объемов и периодичности

Conformity assessment system for the use of nuclear energy. Non-destructive examination of metal of nuclear power plant equipment and pipelines. The procedure of justification of volumes and periodicities

Дата введения — 2019—08—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок обоснования и назначения объемов и периодичности эксплуатационного неразрушающего контроля металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей оборудования и трубопроводов 1-го, 2-го, 3-го и 4-го класса безопасности, на которые распространяется действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, устанавливающих требования к устройству и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов, а также устанавливающих правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций, за исключением корпуса реактора [1]—[4], [6].

1.2 Настоящий стандарт не распространяется на оборудование и трубопроводы реакторов со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителем.

1.3 Порядок обоснования объемов и периодичности контроля с учетом показателей риска не распространяется на оборудование атомных станций (АС).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 50.05.07 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Радиографический контроль

ГОСТ Р 50.05.16 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Неразрушающий контроль. Метрологическое обеспечение.

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

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **герметичное ограждение** (герметичная оболочка, контейнмент): Совокупность элементов блока АС, включая строительные конструкции, которые, ограждая пространство вокруг реакторной установки или другого объекта, содержащего радиоактивные вещества, образуют предусмотренную проектом АС границу и препятствуют распространению радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в окружающую среду в количествах, превышающих установленные пределы.

3.2 **исходная** (детерминированная) **программа контроля:** Программа контроля, разработанная на основе положений действующих нормативных документов без учета вероятностных подходов и анализа рисков.

Примечание — В качестве исходной программы контроля может быть использована типовая программа контроля.

3.3 **механизм деградации:** Явление или процесс, под воздействием которого ухудшаются механические характеристики материала оборудования и трубопроводов и/или может быть нарушена его целостность.

3.4 **отказ:** Событие, включающее течь, разрыв или возникновение таких условий, при которых компонент не способен выполнять свою функцию.

3.5 **риск-ориентированная программа контроля:** Программа контроля, полученная основе исходной программы путем оценки показателей риска и анализа изменения суммарного риска при переходе на нее с исходной программы.

3.6 **участок трубопровода (сегмент):** Часть трубопровода, включающая все элементы конструкции трубопровода, подверженные одним и тем же механизмам деградации, разрыв которой приводит к одинаковым последствиям (к примеру, потеря всей системы или тракта).

3.7 **частота больших аварийных выбросов:** Количество больших аварийных выбросов в единицу времени (за год).

3.8 **частота повреждения активной зоны:** Количество тяжелых аварий в единицу времени (за год).

3.9 **элемент конструкции трубопровода:** Составная часть определенного участка трубопровода (прямой участок, гиб, фитинг, фланец, сварное соединение).

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АЗ — активная зона;
АС — атомная станция;
ВАБ — вероятностный анализ безопасности;
ВТ — механизмы деградации, вызванные течением;
ДВП — допустимое время простоя;
ЗТВ — зона термического влияния;
КИН — коэффициент интенсивности напряжений;
КРПН — коррозионное растрескивание под напряжением;
КРХ — коррозионное растрескивание под воздействием хлоридов;
КЭ — кавитационная эрозия;
МБК — микробиологическая коррозия;
МК — местная коррозия;
МКРПН — межкристаллитное растрескивание под напряжением;
НД — нормативные документы;
ПП — переходные процессы;
ПТ — питтинг;
РУ — реакторная установка;
СС — сварное соединение;
ТКРПН — транскристаллитное растрескивание под напряжением;
ТПР — течь перед разрушением;
ТСЦ — термостратификация, циклирование и чередование холодных и теплых слоев теплоносителя;
ТУ — термическая усталость;

ВБАВ (LERP) — вероятность большого аварийного выброса;
ВПАЗ (CDP) — вероятность повреждения активной зоны;
УВБАВ (CLERP) — условная вероятность большого аварийного выброса;
УВПАЗ (CCDP) — условная вероятность повреждения активной зоны;
ЧПАЗ (CDF) — частота повреждений активной зоны;
ЧБАВ (LERF) — частота большого аварийного выброса;
ЩК — щелевая коррозия;
ЭКИ — эрозионно-коррозионный износ.

5 Порядок обоснования объемов неразрушающего контроля

5.1 Настоящий стандарт предусматривает наличие двух подходов к обоснованию и назначению объемов и периодичности неразрушающего контроля: детерминированный и риск-ориентированный.

5.2 Детерминированный подход предполагает разработку исходной программы контроля, в которой объем и периодичность неразрушающего контроля металла назначаются на основе положений действующих нормативных документов, опыта эксплуатации рассматриваемого оборудования и трубопроводов или его аналогов и, при необходимости, детерминистических расчетных обоснований. В качестве исходной программы может использоваться типовая программа контроля.

5.3 Риск-ориентированный подход предполагает разработку программы контроля на основе оценки вероятности и последствий отказа рассматриваемых трубопроводов и последующего анализа связанных с этим событием рисков в соответствии с требованиями [2]. Данный подход используют для оптимизации объемов контроля на основе исходной программы контроля.

5.4 Перед разработкой программы контроля с учетом показателей риска на основе положений настоящего стандарта необходимо разработать исходную (детерминированную) программу контроля для рассматриваемого блока АС. Исходная программа контроля разрабатывается на основе положений федеральных норм и правил [2]—[4] и опыта эксплуатации рассматриваемого блока и/или блоков аналогичного типа. Изменение объемов контроля или сочетание методов контроля, установленных в исходной (типовой) программе контроля, должно быть обосновано при помощи риск-ориентированного подхода, изложенного в разделе 6.

На основе положений раздела 6 разрабатывается программа контроля с учетом факторов риска (риск-ориентированная программа контроля), являющаяся развитием исходной программы контроля. После разработки риск-ориентированной программы контроля необходимо провести анализ изменения риска при переходе на нее с исходной детерминированной программы контроля в соответствии с 6.6.

5.5 Программы эксплуатационного неразрушающего контроля состояния металла, в т. ч. риск-ориентированные, а также их изменения и дополнения должны быть согласованы с разработчиками проекта РУ и АС в соответствии с [2].

5.6 Программы эксплуатационного неразрушающего контроля состояния металла оборудования и трубопроводов АС должны учитывать положения программы управления ресурсом оборудования и трубопроводов АС в соответствии с [7].

5.7 В период дополнительного и повторного дополнительного срока эксплуатации блоков АС программы контроля разрабатываются с учетом требований [2], учитывая индивидуальные особенности эксплуатации оборудования и трубопроводов, на основе документов, разрабатываемых в соответствии с [8].

5.8 Сварные соединения контролируются по всей длине (если объем контроля рассматриваемого СС не оговорен особо). Для оборудования и трубопроводов 4 класса длина контролируемого участка СС определяется с учетом требований [3] и [4].

6 Порядок обоснования объемов неразрушающего контроля с учетом показателей риска

6.1 Общие положения

6.1.1 Разработка программы контроля на основе показателей риска проводится только для трубопроводов.

6.1.2 Процесс определения объема контроля (количества и места расположения контролируемых зон) основывается на определении значений риска для зон контроля в рамках отдельной технологической системы.

Примечание — Для трубопроводов зонами контроля являются СС (кольцевые и продольные, в случае их наличия), тройники, фланцевые соединения, дросселирующие устройства, редуцеры, а также участки гибов, секторных отводов и переходов, наиболее подверженные ЭКИ. На прямых участках трубопровода также могут быть определены зоны контроля в местах, где предполагается наибольшая скорость ЭКИ.

6.1.3 До начала анализа должны быть определены анализируемые трубопроводы, их границы и функции систем АС, в состав которых они входят.

6.1.4 Каждый выбранный трубопровод должен быть разделен на участки (сегменты), имеющие одинаковые категории последствий отказа и категории вероятности разрушения или отказа (т. е. участки, подверженные одним и тем же механизмам деградации либо имеющие расчетные оценки вероятности отказа, попадающие в определенный интервал). Эти участки должны быть отнесены к категориям риска на основе сочетания последствий и вероятности отказа. Должны быть определены важные с точки зрения риска участки (категории риска 1—5 в соответствии с 6.3.4.2).

6.1.5 Зоны контроля в пределах важных с точки зрения риска участков рассматриваемых трубопроводов (см. 6.3.1) выбираются на основе механизмов деградации, выявленных на данном участке и/или расчетных оценок вероятности отказа на этих участках.

6.1.6 Оценка последствий отказа рассматриваемых трубопроводов базируется на результатах вероятностного анализа безопасности уровней 1 и 2. Поэтому до создания программы контроля с учетом показателей риска необходимо иметь результаты вероятностного анализа безопасности уровня 1 и 2, проведенного в соответствии с действующими нормативными документами [9]—[11] и с учетом рекомендаций МАГАТЭ [12]—[13].

6.1.7 Программа контроля, полученная на основе анализа показателей риска, должна быть согласована с разработчиками проекта РУ и проекта АС.

6.2 Определение границ применимости риск-ориентированного подхода

6.2.1 Разработчик программы контроля определяет границы применения программы контроля на основе риск-ориентированного подхода. Внутри границ каждой из рассматриваемых трубопроводных систем оценка с учетом риска может включать трубопроводы 1, 2, 3 и 4-го класса, определенные в исходной программе эксплуатационного контроля, а также, при необходимости, трубопроводы за пределами границ исходной программы контроля. Границы применения риск-ориентированного подхода для трубопроводов или их частей следует определять на основе исходной программы контроля элементов трубопроводов с учетом требований [2], а для трубопроводов 4-го класса — требований [4].

6.3 Оценка риска для участка трубопровода

6.3.1 Чтобы провести классификацию рисков для каждого участка трубопровода в рассматриваемых системах, необходимо оценить как вероятность разрушения, так и прямые и косвенные последствия отказа (т. е. последствия, оказывающие влияние на другие системы или компоненты, например отказы из-за хлыстовых перемещений трубопровода, удара струи, затопления) в соответствии с 6.3.2 и 6.3.3.

6.3.2 Оценка вероятности отказа

6.3.2.1 Определение механизмов деградации

Для каждого сегмента трубопровода в пределах выбранных границ системы должны быть определены потенциальные активные механизмы деградации. При этом должны учитываться следующие факторы:

а) конструктивные особенности: материал, геометрические размеры и схема разводки трубопроводов, типы компонентов (например, тип фитинга по ОСТ или ГОСТ) и другие характеристики, связанные с конфигурацией системы;

б) технологию изготовления, включая сварку и термическую обработку;

в) параметры эксплуатации: температуру, давление, характер течения среды (например, застой, ламинарный поток, турбулентный поток), качество теплоносителя (например, первичная вода, сырая вода, сухой пар, химический анализ теплоносителя) и внешние условия (например, влажность, радиация);

г) опыт эксплуатации подобных систем;

д) результаты предэксплуатационного, эксплуатационного и дополнительного контроля, а также проделанный ремонт;

е) механизмы деградации, указанные в таблице 1.

Таблица 1 — Механизмы деградации

Механизмы		Признаки	Предполагаемые места
ТУ	ТСЦ	Трубы условным диаметром более 25 мм. Участок трубы имеет наклон менее 45° по отношению к горизонту (включая гибы и тройники в вертикальных участках труб). Существует возможность возникновения низкоскоростного течения в сечении трубы, соединенной с оборудованием, в котором возможно смешение горячей и холодной жидкостей, или существует возможность перетекания в обход клапана (т. е. втекание, вытекание, взаимное перетекание), приводящее к смешению горячей и холодной сред, или существует возможность для конвективного нагрева в заглушенных участках трубопровода, соединенного с источником горячей жидкости, или возможно возникновение двухфазного (пар/вода) потока, или существует возможность проникновения турбулентности в отвод коллекторных трубопроводов с турбулентным течением горячей жидкости. Измеренный или вычисленный перепад температуры ΔT более 27 °С. Число Ричардсона менее 4.0	Патрубки, отводы, заглушенные участки, СС, околошовные зоны (зоны термического влияния), основной металл, концентраторы напряжений
	ПП	Температура эксплуатации более 130 °С для нержавеющей стали или менее 105 °С для углеродистых сталей. Существует возможность относительно быстрого изменения температуры, включая впрыск холодной воды в горячий участок трубопровода или горячей воды в холодный участок: $\|\Delta T\|$ более 111 °С для нержавеющей стали; $\|\Delta T\|$ более 83 °С для углеродистой стали; $\|\Delta T\|$ больше разрешенного (для углеродистых и нержавеющих сталей)	
КРПН	МКРПН	Оценивается в соответствии с программами контроля, разработанными для каждого энергоблока	Основной металл, СС, ЗТВ
	ТКРПН	Температура эксплуатации более 65 °С. Растягивающие напряжения (в т. ч. остаточные). Наличие галогенидов (например, фторид, хлорид) или едких веществ (NaOH). Наличие в среде кислорода или окисляющих веществ (только в комбинации с галогенидами, и не обязательно в случае едких веществ)	Аустенитная нержавеющая сталь, СС, ЗТВ
	КРХ	Температура эксплуатации более 65 °С. Растягивающие напряжения (в т. ч. остаточные). Наружная поверхность трубопровода находится в пределах пяти диаметров вероятного пути утечки (например, шток клапана) и покрыта неметаллической изоляцией или наружная поверхность трубопровода подвержена смачиванию хлоридосодержащими средами (например, морская вода, минерализованная вода и т. п.)	Основной металл, СС, ЗТВ
МК	МБК	Температура эксплуатации менее 65 °С. Низкоскоростной или прерывистый поток. pH менее 10. Наличие органики (например, в системах с сырой водой или если вода не обработана биоцидами)	Фитинги, СС, ЗТВ, соединения разнородных металлов (СС, фланцы) и зоны с щелями/зазорами
	ПТ	Существует возможность низкоскоростного течения. В среде присутствует кислород или окисляющие соединения. Присутствуют инициирующие загрязнители (фториды, хлориды и т. п.)	
	ЩК	Существует возможность образования щели (например, в теплоизолирующих втулках). Температура эксплуатации более 65 °С. В среде присутствует кислород или окисляющие соединения	

Окончание таблицы 1

Механизмы		Признаки	Предполагаемые места
ВТ	КЭ	Наличие источника кавитации (например, дроссельные заслонки или шайбы). Температура эксплуатации менее 120 °С. Течение возможно более 100 часов в год. Скорость потока теплоносителя более 9,1 м/с. $(P_d - P_v)/\Delta P < 5$, где P_d — статическое давление ниже по течению источника кавитации, P_v — давление пара, ΔP — перепад давлений в источнике кавитации	Фитинги, СС, ЗТВ, основной металл
	ЭКИ	Оценивается в соответствии с программой контроля, учитывающей ЭКИ	Согласно соответствующей программе контроля
Гидроудар [1]		Возможность сброса жидкости или срабатывания предохранительного клапана	
[1] Гидроудар, в отличие от механизма деградации, это редкий случай нагружения, приводящий к большим нагрузкам на оборудование и трубопроводы, но возможность возникновения ГУ в оцениваемой зоне, в сочетании с одним или несколькими из перечисленных механизмов, является причиной для присвоения этой зоне более высокой категории при оценке.			

6.3.2.2 Выбор категории по вероятности разрушения

Механизмы деградации должны быть классифицированы по категориям, приведенным в таблице 2, в соответствии с их возможностью вызвать разрыв труб большого диаметра. Сегменты, подверженные ЭКИ и эрозии, должны классифицироваться в категории «высокая вероятность разрушения». Участки, подверженные любым другим механизмам деградации, должны классифицироваться в категории «средняя вероятность разрушения». Категория вероятности разрушения для участков с механизмами деградации, приводящими к средним и малым течам, должна быть повышена до высокой (большая течь), если на этих участках трубопровода существует возможность возникновения гидроудара.

Примечание — Конкретные значения параметров большой/средней/малой течи назначаются проектировщиком трубопроводной системы. Порядок организации работ по выводу из эксплуатации.

Дополнительно может быть произведена количественная оценка вероятности разрушения СС в рассматриваемой области определения в соответствии с требованиями приложения А или другой апробированной методики расчета вероятности разрушения. По результатам расчета категории СС по вероятности разрушения могут быть изменены на основе предельных значений, указанных в перечислении а) 6.6.4. Категория СС может быть изменена с высокой на среднюю или низкую при дальнейшей эксплуатации блока с учетом соответствующего обоснования в случае применения компенсирующих мероприятий, изменения конструктивных решений по результатам эксплуатации и анализа выявленных дефектов.

Таблица 2 — Категории механизмов деградации

Вероятность разрушения	Условия	Категория деградации	Механизм деградации
Высокая [1]	Механизм деградации может привести к разрыву по всему сечению или разрыву, приводящему к большой течи	Большая течь (разрыв по всему сечению)	ЭКИ, эрозия, в т. ч. КЭ
Средняя	Механизм деградации может привести к малой течи	Малая течь	коррозия, КРПН
Низкая	Нет	Нет	Нет
[1] Согласно 6.3.2.2.			

6.3.3 Оценка последствий разрушения или отказа трубопровода

6.3.3.1 Типы отказов и анализ последствий

Следует определить возможные типы отказов для каждого участка трубопровода и оценить их последствия. Эта оценка должна учитывать следующее:

а) объем разрыва (размер течи). Для большинства сегментов анализ последствий должен проводиться при условии большой течи (разрыва по всему сечению). Исключениями являются трубопроводы, для которых малая течь является более консервативной с точки зрения влияния на безопасность либо если для рассматриваемого трубопровода обоснована концепция ТПР в соответствии с действующей нормативной документацией;

б) изолируемость разрыва. Разрыв может быть автоматически изолирован запорным клапаном, закрытой изолирующей задвижкой или задвижкой, которая закрывается автоматически или по команде оператора;

в) косвенные последствия. Включают в себя пространственные эффекты (последствия отказа, оказывающие влияние на другие системы или компоненты, такие как отказы из-за хлыстовых перемещений трубопровода, удара струи или затопления) и другие косвенные последствия;

г) инициирующие события. Определяются с помощью перечня инициирующих событий, характерных для конкретной АС на основе ВАБ и конструкторской документации;

д) воздействие на систему/восстановление работоспособности. Средства обнаружения отказа и технические характеристики, связанные с отказавшей системой и другими затронутыми системами. Должны также оцениваться возможные действия автоматики и персонала по предотвращению потери систем;

е) резервирование системы. Необходимо учесть наличие резервных трубопроводов (систем) для уменьшения последствий аварий.

6.3.3.2 Оценка категории последствий отказа

Последствия отказа (разрушения) каждого сегмента трубопровода делятся на три группы, в зависимости от того, приводят ли они:

- к инициирующему событию;
- к отказу системы, важной для безопасности;
- к комбинации предыдущих двух факторов.

Затем, в соответствии с 6.3.3.1, для каждого рассматриваемого сегмента трубопровода выбирается категория последствий (высокая, средняя, низкая, без последствий):

а) отказ участка трубопровода приводит к инициирующему событию.

Если постулированный отказ приводит только к инициирующему событию (например, к потере охлаждающей жидкости, потере питательной воды, отключению реактора), то последствия разрушения или отказа должны быть отнесены к одной из четырех категорий: высокая, средняя, низкая или без последствий. Категории последствий для инициирующих событий назначаются следующим образом:

1) инициирующее событие должно быть отнесено к одной из категорий в таблице 3. Рассматриваются все инициирующие события, учтенные в проекте и проанализированные в обновленном итоговом отчете об анализе безопасности и отчете по ВАБ;

2) отказы, вызывающие инициирующее событие, попадающее в категорию нормальной эксплуатации (категория проектных режимов I), не рассматриваются в данном анализе;

3) отказам сегментов трубопроводов, которые приводят к II (ожидаемое событие), III (несчастный случай), или IV (ограниченный сбой или несчастный случай) категории инициирующего события, присваивается категория последствий по критерию условной вероятности повреждения активной зоны (CCDP), указанному в таблице;

б) отказ участка трубопровода вызывает отказ системы, важной для безопасности.

Такие последствия отказа участка трубопровода не вызывают инициирующего события, но приводят к повреждению или разрушению систем, важных для безопасности. Эта группа базируется на следующих трех признаках:

1) частота включений затрагиваемой системы, определяющая, как часто используются ее функции. Это соответствует частоте возникновения инициирующих событий, требующих работы системы;

2) количество доступных резервирующих систем, определяющее, сколько незатрагиваемых систем способны выполнять те же функции по нейтрализации последствий, что и поврежденная или неисправная система;

3) время простоя системы, в течение которого рассматриваемая система будет недоступна до перехода АС в другой режим, в котором не требуется выполнение нейтрализующей функции данной

системы, авария будет ликвидирована, либо будут предприняты другие компенсирующие меры. Время простоя — это функция времени обнаружения отказа и ДВП, определенного в проектной документации.

Категории последствий отказа назначаются в соответствии с таблицей 5: высокая, средняя или низкая. В соответствии с группой инициирующих событий (см. таблицу 3) частоты отказов систем сгруппированы по категориям проектных режимов (II, III и IV), за исключением частот возникновения инициирующих событий, не соответствующих таблице 3. В этом случае для определения категории события используется частота инициирующего события. Время простоя системы должно быть получено из проектной документации. Вместо таблицы 5 могут быть использованы количественные показатели на основе условной вероятности повреждения АЗ для определения категории последствий на основе ВАБ АС в соответствии с таблицей 4;

в) оценка группы комбинированных воздействий.

Категория последствий для участка трубопровода, отказ которого приводит как к инициирующему событию, так и к повреждению или потере системы, важной для безопасности, определяется с использованием таблицы 6. Категория последствия в данной группе является функцией двух факторов:

1) использования системы в качестве нейтрализующей для произошедшего инициирующего события;

2) количество незатронутых резервных систем или трубопроводов, способных выполнять ту же функцию;

г) эффективность герметичной оболочки.

Предыдущие оценки определяют последствия отказа трубопроводов относительно повреждения АЗ. Должно также оцениваться влияние разрушения/отказа трубопровода на эффективность работы герметичной оболочки. Эта оценка основывается на соотношении между УВПАЗ и УВБАВ, которое должно быть меньше либо равно 10^{-1}, как показано в таблице 4. Если УВБАВ при повреждении АЗ больше 10^{-1}, то присвоенная категория последствий увеличивается на один уровень. Для проведения оценки влияния на герметичную оболочку решаются две задачи:

1) оцениваются значения УВПАЗ для инициирующих событий и функций безопасности для определения того, требует ли возможное разрушение оболочки увеличения категории последствий;

2) оценивается воздействие на герметичную оболочку. Если имеется барьер в виде герметичной оболочки, то категория последствий на основе оценки УВПАЗ не меняется. Если такого барьера нет или показано, что вследствие разрушения рассматриваемого участка оболочка разрушается, то отношение УВПАЗ к верхнему пределу УВПАЗ для текущей категории последствий рассматриваемого события в соответствии с таблицей 4 (т. е. запас) должно быть не менее 10^{-1}, чтобы текущая категория последствий осталась неизменной.

Пример — Если условная вероятность повреждения АЗ составляет менее 10^{-5} (т. е. «средняя» категория последствий) и нет локализующего барьера (герметичной оболочки), «средняя» категория сохраняется, потому что есть запас 0,1 до нижнего предела для «высокой» категории (т. е., 10^{-4}). Однако если условная вероятность повреждения АЗ составляет $5 \cdot 10^{-5}$ (т. е. «средняя» категория) и герметичная оболочка отсутствует, категория последствий повышается до «высокой», т. к. запас относительно высокой категории (т. е. 10^{-4}) составляет менее 10^{-1}.

Для участков трубопроводов, отказ которых может привести к выбросу теплоносителя за пределы герметичной оболочки, определение категории последствий производится с помощью таблицы 7;

д) другие режимы работы. Необходимо учитывать любую другую информацию, включая оценку внешних событий и других режимов работы АС, отличных от режима «работы на мощности», которая может использоваться для определения последствий отказа сегмента трубопровода.

Таблица 3 — Категория последствий для группы инициирующих событий

Категория последствий для группы инициирующих событий				
Категория проектных режимов	Тип инициирующего события	Репрезентативный диапазон частот инициирующего события (1/год)	Пример инициирующего события	Категория последствий
1	Нормальная эксплуатация	Более 1	—	Нет
2	Ожидаемое событие	Более 10^{-1}	Остановка реактора, остановка турбины, частичная потеря питательной воды	Низкая/средняя

Окончание таблицы 3

Категория последствий для группы инициирующих событий				
Категория проектных режимов	Тип инициирующего события	Репрезентативный диапазон частот инициирующего события (1/год)	Пример инициирующего события	Категория последствий
3	Редкое событие	От 10^{-1} до 10^{-2}	Избыток питательной воды	Низкая/средняя
			Отсутствие пара, потеря внешнего питания	Средняя/высокая
4	Ограниченная неисправность или авария	Менее 10^{-2}	Малая авария с потерей теплоносителя, разрыв паропровода, большая авария с потерей теплоносителя	Средняя/высокая

Таблица 4 — Количественные показатели для определения категорий последствий

Категория последствий	Соответствующая УВПАЗ АЗ	Соответствующая УВБАВ
Высокая	Более 10^{-4}	Более 10^{-5}
Средняя	От 10^{-6} до 10^{-4}	От 10^{-7} до 10^{-5}
Низкая	Менее 10^{-6}	Менее или равно 10^{-7}

Таблица 5 — Принципы определения категории последствий в результате потери системы или циркуляции по тракту

Затрагиваемые системы		Количество незатронутых резервных трактов							
Частота отказов	Время простоя вследствие отказа	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	≥3,5
Ожидаемо (проектные режимы категории II, частота более 10^{-2}) 1/(реактор · год)	Весь год	В	В	В	В	С	С	Н	Н
	Между испытаниями (1—3 месяца)	В	В	В	С[1)]	С	Н[1)]	Н	Н
	Длительное ДВП (не более недели)	В	В	С [1)]	С	Н[1)]	Н	Н	Н
	Короткое ДВП (не более дня)	В	С [1)]	С	Н[1)]	Н	Н	Н	Н
Нечасто (проектные режимы категории III, частота от 10^{-2} до 10^{-4}) 1/(реактор · год)	Весь год	В	В	В	С	С	Н[1)]	Н	Н
	Между испытаниями (1—3 месяца)	В	В	С[1)]	С	Н[1)]	Н	Н	Н
	Длительное ДВП (не более недели)	В	С[1)]	С	Н[1)]	Н	Н	Н	Н
	Короткое ДВП (не более дня)	В	С	Н[1)]	Н	Н	Н	Н	Н
Неожиданно (проектные режимы категории IV, частота от 10^{-4} до 10^{-6}) 1/(реактор · год)	Весь год	В	В	С	С	Н[1)]	Н	Н	Н
	Между испытаниями (1—3 месяца)	В	С	С	Н[1)]	Н	Н	Н	Н
	Длительное ДВП (не более недели)	В	С	Н[1)]	Н	Н	Н	Н	Н
	Короткое ДВП (не более дня)	В	Н[1)]	Н	Н	Н	Н	Н	Н

Примечание — В — высокая, С — средняя, Н — низкая.

[1)] Эффективность герметичной оболочки: если нет барьера в виде герметичной оболочки и категория последствий помечена звездочкой, то категория увеличивается на одну ступень (С до Н, Н до С).

Таблица 6 — Категории последствий для комбинированной группы воздействий

Событие	Категория последствий
Инициирующее событие и доступен один неповрежденный тракт нейтрализующей системы	Высокая
Инициирующее событие и доступны два неповрежденных тракта нейтрализующих систем	Средняя[1] (или категория последствий инициирующего события из таблицы 3)
Инициирующее событие и доступны более двух неповрежденных трактов нейтрализующих систем	Низкая (или категория последствий инициирующего события из таблицы 3)
Инициирующее событие и нет поврежденных нейтрализующих систем	Категория последствий инициирующего события из таблицы 3
[1] Должна быть присвоена наиболее высокая категория из таблицы 3 или 6.	

Таблица 7 — Категории последствий отказа трубопроводов, приводящих к увеличению вероятности выброса теплоносителя за пределы герметичной оболочки

Защита против попадания теплоносителя за пределы герметичной оболочки	Категория последствий
Один активный барьер[1]	Высокая
Один пассивный барьер[2]	Высокая
Два активных барьера	Средняя
Один активный и один пассивный барьер	Средняя
Два пассивных барьера	Низкая
Более двух пассивных барьеров	Нет
[1] Активный барьер — задвижка, закрывающаяся по требованию. [2] Пассивный барьер — задвижка, которая остается закрытой.	

6.3.4 Категории риска для участка трубопровода

6.3.4.1 Матрица рисков

Риск отказа участка трубопровода оценивается исходя из ожидаемой вероятности этого события и ожидаемых последствий. Вероятность разрушения (отказа) оценивается на основе подверженности участка различным механизмам деградации и представляется категорией, отнесенной к участку в соответствии с 6.3.2. Последствия должны быть представлены категорией последствий, отнесенной к участку трубопровода в соответствии с 6.3.3. Структура, используемая для представления результатов данного анализа, называется матрицей рисков и представлена в таблице 9. Каждому участку трубопровода должна быть присвоена одна из категорий риска в соответствии с таблицей 8 на основе его категорий вероятности отказа и возможных последствий.

6.3.4.2 Категории риска

Три категории по вероятности отказа и четыре категории последствий должны быть объединены в семь категорий риска. Участки и элементы конструкции трубопроводов, имеющие категории риска 1, 2, 3, 4 или 5, являются важными для безопасности, а имеющие категории 6 или 7 — менее важными.

Таблица 8 — Категории риска

Категория риска	Область риска
1	Высокая категория последствий и высокая вероятность отказа
2	Высокая категория последствий и средняя вероятность отказа
3	Средняя категория последствий и высокая вероятность отказа
4	Высокая категория последствий и низкая вероятность отказа
5	Средняя категория последствий и средняя вероятность отказа или низкая категория последствий и высокая вероятность отказа

Окончание таблицы 8

Категория риска	Область риска
6	Средняя категория последствий и низкая вероятность отказа или низкая категория последствий и средняя вероятность отказа
7	Низкая категория последствий и низкая вероятность отказа или Нет последствий и любая категория вероятности отказа

Таблица 9 — Матрица риска

Группа риска. Высокий: 1,2,3. Средний: 4 и 5, Низкий: 6 и 7		Категория последствий			
		Нет	Низкая	Средняя	Высокая
Вероятность отказа	Высокая	Категория 7	Категория 5	Категория 3	Категория 1
	Средняя	Категория 7	Категория 6	Категория 5	Категория 2
	Низкая	Категория 7	Категория 7	Категория 6	Категория 4

6.4 Назначение объема контроля с использованием показателей риска

6.4.1 Количество зон, подлежащих контролю в каждой категории риска, должно быть следующим:

а) для участков в категориях риска 1, 3, или 5. При существовании высокой вероятности разрушения вследствие ЭКИ, в отсутствие других известных механизмов деградации, объем, зоны и периодичность контроля назначаются в соответствии с исходной программой контроля, учитывающей данный механизм деградации;

б) для участков трубопроводов 1-го и 2-го класса в категориях риска 1, 2, 3, или 5, при наличии механизма деградации МКРПН, объем, зоны и периодичность контроля должны быть такими же, как и в существующей исходной программе контроля, составленной с учетом данного механизма деградации и предыдущего опыта эксплуатации. В случае если для рассматриваемых трубопроводов выполнена количественная оценка вероятности разрушения СС по методике приложения А или другой апробированной методике с оценкой роста дефектов по механизму МКРПН и других характерных особенностей рассматриваемых СС (условий нагружения, начальной дефектности, погрешности измерений при контроле и т. п.), то для оценки объема контроля допускается использовать положения в) 6.4.1.

в) для участков с механизмами деградации, отличными от рассматриваемых в а) и б) 6.4.1, или участков с неизвестными механизмами деградации в рамках риск-ориентированной программы контроля должно быть рассмотрено следующее количество зон контроля:

1) для категорий риска 1, 2 и 3 число мест проведения контроля в каждой категории должно составлять не менее 25 % от общего числа зон контроля в каждой категории риска, применимых к оцениваемой системе;

2) для категорий риска 4 или 5 число контролируемых зон в каждой категории должно составлять не менее 10 % от общего числа зон контроля в каждой категории риска, применимых к оцениваемой системе;

г) для участков в категориях риска 6 или 7 объемное и поверхностное обследование не требуется;

д) все элементы класса 1, 2 и 3 независимо от категории риска требуют гидроиспытаний и визуального контроля, если это требуется в соответствии с нормативными документами [2], [5]—[6].

6.4.2 Если в качестве области определения выбраны только стыковые СС трубопроводов 1-го и 2-го класса безопасности, кроме швов приварки к оборудованию, то зоны контроля могут выбираться начиная с высокой группы риска и далее последовательно до низкой, пока общее число элементов не станет равно 10 % от общего числа указанных СС. Контроль может быть сосредоточен на системах, имеющих участки с высокой категорией риска, таким образом, чтобы был проконтролирован наибольший процент элементов категорий риска: 1, 2 и 3. В указанные 10 % должно входить не более 50 % объема контроля, требуемого другими расширенными программами контроля в случае их наличия.

6.4.3 Последовательность действий при проведении риск-анализа для назначения объема контроля приведена на рисунке 1.

Примечание — Параметры системы контроля течи выбираются в соответствии с проектной документацией к системе. Достоверность контроля оценивается в соответствии с ГОСТ Р 50.04.07 и ГОСТ Р 50.05.16.

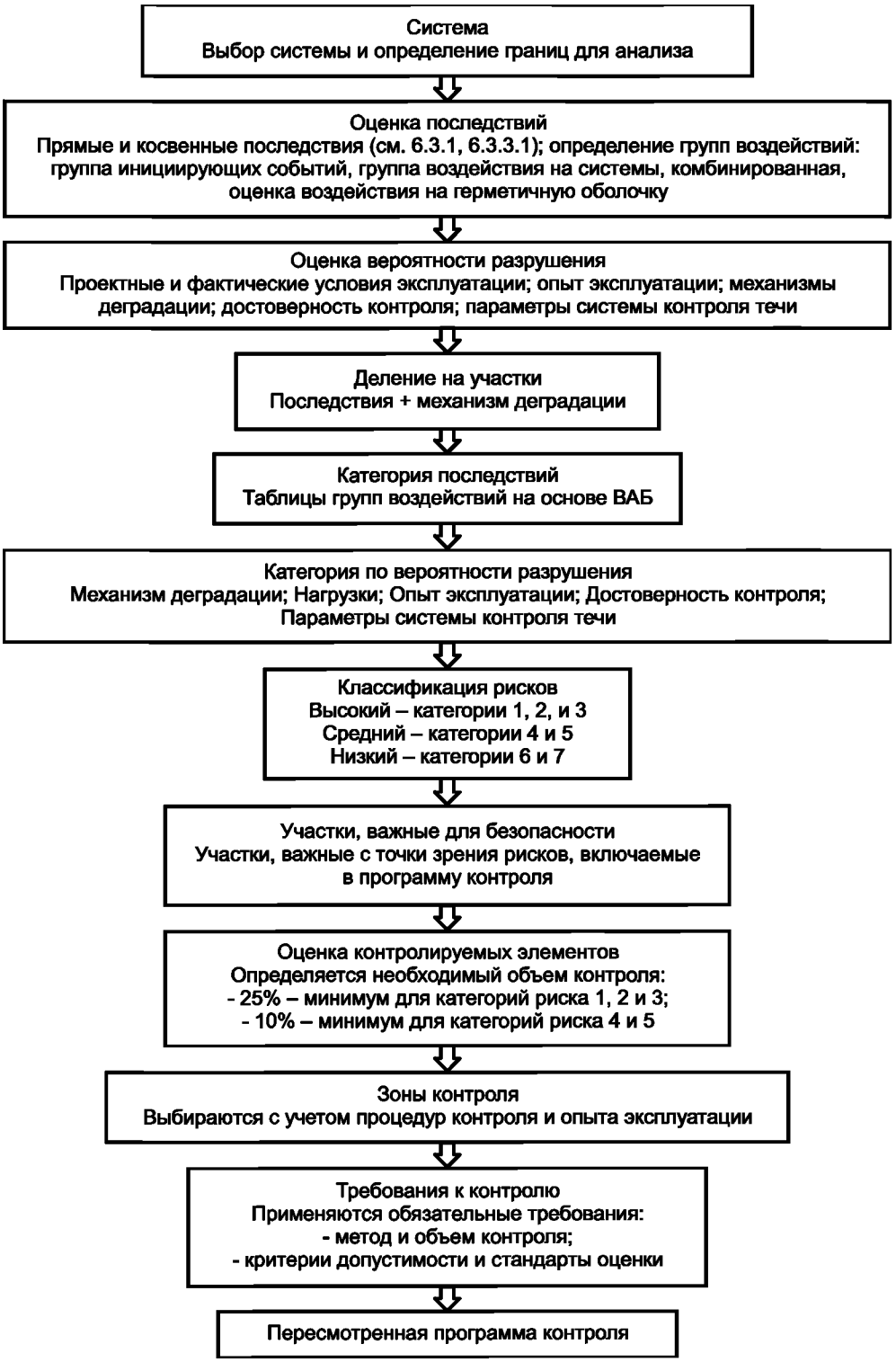


Рисунок 1 — Последовательность действий при применении риск-анализа

6.5 Выбор зон контроля

Выбор зон контроля в каждой категории риска основывается на следующих положениях:

- подверженность рассматриваемых участков трубопроводов конкретным механизмам деградации, приведенным в таблице 1;

- характерное для трубопроводов данной АС растрескивание или образование дефектов, выявленных в ходе эксплуатации;

- наличие предыдущих результатов предэксплуатационного и эксплуатационного контроля в рассматриваемых зонах для ведения истории изменения размеров дефекта;

- контроль должен проводиться для каждого выявленного механизма деградации и сочетания механизмов деградации (например, термической усталости и МКРПН). Должна быть по возможности учтена относительная скорость деградации для конкретных механизмов (например, скорости эрозионного или ЭКИ, ΔT или число Ричардсона для термической усталости, скорость роста дефекта по механизму МКРПН). Выбор зон контроля в участках 4-й категории риска должен основываться на местах значительной концентрации напряжений, геометрических неоднородностях или заглушенных концах трубопровода;

- зоны контроля должны быть выбраны с учетом их контроледоступности и контролепригодности соответствующими методами контроля;

- зоны контроля должны быть выбраны так, чтобы минимизировать облучение персонала во время контроля.

6.6 Оценка изменения показателей риска

6.6.1 До применения риск-ориентированного подхода необходимо разработать исходную (детерминированную) программу контроля и при переходе с детерминированного на риск-ориентированный подход требуется оценка изменения суммарного риска.

6.6.2 Предложенные изменения в программе контроля, полученные на основе анализа рисков, должны быть качественно и количественно оценены, чтобы определить, необходимы ли какие-либо коррективы или компенсирующие мероприятия для обеспечения уверенности в том, что влияние предлагаемого изменения либо нейтрально с точки зрения риска, либо обеспечивает снижение рисков, или незначительно увеличивает ЧПАЗ и ЧБАВ (см. 5.6.4.5).

6.6.3 Качественная оценка

Для участков с низкими категориями риска (6 и 7) любые изменения в объеме контроля должны иметь незначительное влияние на риск. Другие категории рисков должны подвергаться качественной оценке, чтобы определить, является ли объем контроля большим, таким же или меньшим, в сравнении с исходной (детерминированной) программой контроля. В случае если объем контроля для каких-то категорий риска в соответствии с риск-ориентированным подходом больше или такой же, как и в исходной программе контроля, то суммарный риск уменьшается или в худшем случае сохраняется, что допустимо. Для категорий риска, с меньшим, чем в исходной программе, объемом контроля, проводится количественная оценка.

6.6.4 Количественная оценка

Изменение риска оценивается по изменениям в контроле СС на участках средней и высокой категории риска (1—5).

6.6.4.1 Предельные значения вероятности разрушения

При оценке могут быть использованы следующие частоты разрушения: $2 \cdot 10^{-6}$ 1/СС·год для СС в высокой категории вероятности разрушения, $2 \cdot 10^{-7}$ 1/СС·год для СС, отнесенных к средней категории вероятности разрушения, и $10^{-8} \cdot$ 1/СС·год для низкой категории.

6.6.4.2 Частоты разрушения для конкретных зон

При наличии необходимых исходных данных оценки частот для конкретных СС разрушения могут проводиться на основе математических моделей. Математическая модель может использоваться как для оценки частот разрушения, характерных для определенных зон, так и для оценки того факта, что контроль мог бы уменьшить частоту разрушения конкретной зоны (так, при контроле могут обнаруживаться дефекты, которые могут привести к разрушению, выявление таких дефектов снижает вероятность и, соответственно, частоту разрушения). При использовании частот разрушения, основанных на механизмах деградации, механизмы, входящие в дополнительную программу, не затрагиваемые предлагаемой программой контроля с учетом риска, не должны включаться в оценку конкретных зон. Частоты отказов для других механизмов деградации, одновременно присутствующих (за исключением МКРПН, ЭКИ и замедленного деформационного коррозионного растрескивания), должны быть просуммированы.

6.6.4.3 Оценка условных рисков

При необходимости может использоваться условная вероятность повреждения А3 (УВПАЗ) и условные вероятности большого аварийного выброса (УВБАВ), определенные для каждого отдельного участка трубопровода. Если отсутствуют оценки УВПАЗ (CCDP) и УВБАВ (CLERP) для каждого отдельного участка, то:

- для участка с тяжелыми последствиями используются максимальные из полученных значений;

- для участков со средней категорией последствий УВПАЗ = 10^{-4} и УВБАВ = 10^{-5};
- для низкой категории последствий УВПАЗ = 10^{-6} и УВБАВ = 10^{-7}.

Оценка должна быть сделана отдельно для изменения ЧПАЗ (CDF) и отдельно для ЧПБАВ (LERF). Уравнения ниже описывают только изменения в ЧПАЗ. Изменения в ЧПБАВ при применении риск-ориентированного подхода к контролю определяется аналогично путем замены в уравнениях УВПАЗ на условную вероятность большого аварийного выброса радиоактивности (CLERP).

Для оценки рисков используются следующие общие уравнения:

$$\Delta R_{CDF} = \Sigma_j (I_{Rj} - I_{Dj}) \cdot PF_j \cdot CCDP_j, \quad (1)$$

где $CCDP_j$ — условная вероятность повреждения АЗ при разрушении j-ой зоны;

I_{Dj} — коэффициент снижения частоты разрушения трубопровода в зоне j в исходной (детерминированной) программе контроля;

I_{Rj} — коэффициент снижения частоты разрушения трубопровода в зоне j при использовании риск-ориентированной программы контроля;

PF_j — частота разрушения трубопровода в зоне j без учета контроля;

ΔR_{CDF} — изменение частоты повреждения АЗ вследствие изменения программы контроля с исходной на риск-ориентированную.

В формуле (1) индекс j изменяется от 1 до N, где N — количество всех рассматриваемых зон контроля.

В терминах вероятности обнаружения используют формулу

$$POD_j = (1 - I_j), \quad (2)$$

уравнение (1) записывается в следующем виде:

$$\Delta R_{CDF} = \Sigma_j (POD_{Dj} - POD_{Rj}) \cdot PF_j \cdot CCDP_j, \quad (3)$$

где POD_{Dj} — вероятность обнаружения дефекта в зоне j при использовании исходной (детерминированной) программы контроля (может меняться в зависимости механизма деградации и применяемой системы неразрушающего контроля);

POD_{Rj} — вероятность обнаружения дефекта в зоне j при использовании риск-ориентированной программы контроля (может меняться в зависимости механизма деградации и применяемой системы неразрушающего контроля).

Для упрощения расчетов допустимо использовать предельные оценки частоты разрушения труб из 6.6.4.1 и условных вероятностей повреждения АЗ и раннего выброса радиоактивности из 6.6.4.3. Если используются предельные оценки для обеих частот разрушения и условных вероятностей, то уравнение запишется в следующем виде:

$$\Delta R_{CDF} = \sum_f \sum_c \left(POD_D \cdot N_{efc} - POD_R \cdot N_{rfc}\right) \cdot PF_f \cdot CCDP_c, \quad (4)$$

где $CCDP_c$ — условная вероятность повреждения АЗ для высокой, средней и низкой категории оценки последствий;

N_{efc} — количество контролируемых зон в категории последствий f (от 1 до 3) и категории вероятности разрушения c (от 1 до 3) при использовании исходной программы контроля;

N_{rfc} — количество контролируемых зон в категории последствий f и категории вероятности разрушения c при использовании программы контроля с учетом показателей риска;

PF_f — частота разрушения трубопровода при высокой, средней и низкой частоте разрушения;

POD_D — вероятность обнаружения дефекта при использовании исходной программы контроля, если применимо (может меняться в зависимости механизма деградации);

POD_R — вероятность обнаружения дефекта при использовании риск-ориентированной программы контроля (может меняться в зависимости механизма деградации).

6.6.4.4 Критерии приемлемости

Расчетное изменение в CDF и LERF для каждой системы должно быть меньше, чем 10^{-7} в год и 10^{-8} в год, соответственно, и общее изменение в CDF и LERF должно быть менее 10^{-6} в год и 10^{-7} в год соответственно. Если эти требования не выполнены, то должны быть добавлены зоны контроля.

6.7 Повторная оценка объема контроля с помощью риск-ориентированного подхода

6.7.1 Общие положения

6.7.1.1 Объем контроля, определенный в соответствии с риск-ориентированной программой контроля, должен быть пересмотрен на основе интервалов контроля, назначенных в соответствии

с требованиями [2] и [7]. В проектный срок эксплуатации интервал контроля может быть увеличен не более чем на один год. Периодичность и объем эксплуатационного контроля металла, проводимого в период сверх проектного срока службы блоков АС, устанавливается в соответствии с [2] (пункт 92) и [8] (пункт 18). При пересмотре устанавливается, должны ли быть внесены какие-либо изменения в объем контроля, определенный в риск-ориентированной программе контроля, путем оценки следующих факторов:

- изменений конструкции АС (физические: установка нового трубопровода или оборудования и т. д.; программные: повышение мощности, изменение топливного цикла; процедурные: изменение в периодичности испытаний, изменения рабочих инструкций);
- изменений в постулированных условиях или предположения (например, утечка через седло обратного клапана больше, чем предполагалось ранее);
- предыдущих результатов эксплуатационного контроля и технического освидетельствования (обнаруженных утечек, дефектов и т. п.);
- отказов трубопроводов (например, сквозные течи в основном металле или СС, характерные для конкретной АС или отрасли в целом, разрушение из-за нового или ранее не рассматриваемого механизма деградации);
- обновления ВАБ (вероятностной оценки риска), например добавление новых инициирующих событий, новых функций систем, использование более подробной модели, изменения в уже проанализированных инициирующих событиях и данных по отказам.

6.7.2 Периодический пересмотр программы контроля

6.7.2.1 Если периодические пересмотры объема контроля согласно 6.7.1.1 показывают, что элементы конструкции, системы или части трубопроводов стали важными для безопасности и риск-ориентированная программа контроля нуждается в обновлении, то объем контроля увеличивается в соответствии с требованиями к категориям риска 1, 2, 3, 4 или 5 согласно 6.4 или на основе процедур, использованных при создании риск-ориентированной программы контроля.

6.7.2.2 Если повторный анализ показывает, что трубопроводы, элементы конструкции, системы или их части перестали быть важными для безопасности, т. е. их категории риска изменились на 6 или 7, то риск-ориентированная программа контроля может оставаться без изменений или выбранные зоны могут быть откорректированы (исключены) с помощью соответствующего процесса, ранее использованного при составлении программы контроля.

6.7.2.3 Пересмотр объема контроля выполняется путем добавления новой информации на соответствующем уровне анализа. При этом нет необходимости пересматривать весь процесс выбора зон контроля, достаточно внести необходимые изменения в объем контроля обновленной программы.

6.7.2.4 Если какая-либо часть риск-ориентированной программы контроля была пересмотрена, то должна быть проведена оценка изменений в рисках в соответствии с 6.7.

7 Порядок назначения периодичности контроля

7.1 Периодичность контроля для исходной и риск-ориентированной программы контроля назначается в соответствии с [2] (таблица 1 раздел IX) в проектный срок эксплуатации и период сверх проектного срока службы блоков АС в соответствии с [2] (пункт 92) и требованиями [8]. За цикл контроля принимается десятилетний период, по истечении которого должна быть выполнена оценка текущего уровня безопасности блока АС. Объем эксплуатационного контроля, приведенный в программе контроля, в независимости от используемого подхода (детерминированной или риск-ориентированный) должен быть распределен в рамках каждого цикла контроля. Допускается распределять объем контроля в течение цикла контроля на основе анализа рисков с учетом требований [2] и 7.3 (к примеру, первыми контролировать зоны в участках с высокими категориями риска).

7.2 Контроль металла оборудования и трубопроводов при эксплуатации проводится планово при остановке блока на плановый ремонт, капитальный ремонт, средний ремонт или текущий ремонт.

7.3 В случае если в процессе очередного контроля обнаружены дефекты, превышающие допустимые размеры, заданные нормативной документацией [2], либо выявлены неучтенные ранее механизмы деградации, периодичность контроля должна быть пересмотрена с целью недопущения отказа рассматриваемого участка трубопровода или оборудования. В случае использования риск-ориентированного подхода оценка рисков пересматривается на основе положений 6.7. При этом оценка вероятности разрушения дефектных участков должна быть пересмотрена с учетом новых данных по дефектности и/или неучтенных ранее механизмов деградации.

7.4 При определении длительности цикла контроля и межконтрольных интервалов в период сверх проектного срока службы блоков АС необходимо учитывать документы, разрабатываемые в соответствии с [7].

Получившиеся длительности циклов контроля могут быть существенно меньше указанных в [2] (таблица 1 раздел IX).

7.5 Периодичность контроля оборудования и трубопроводов в период проектного срока службы может быть изменена с учетом требований [2] и при наличии соответствующего обоснования. Одним из способов обоснования изменения периодичности контроля трубопроводов является обоснование на основе показателей риска. Если риск-ориентированная программа контроля составляется с учетом требований настоящего стандарта, то для обоснования измененной периодичности контроля следует выполнить оценку изменения показателей риска по аналогии с 6.6. Критерии приемлемости измененной периодичности контроля основаны на критериях, приведенных в 6.6. Необходимо оценить суммарное изменение CDP и LERP за проектный срок службы при переходе с исходной программы контроля на риск-ориентированную с измененным объемом и периодичностью контроля. Расчетные изменения в CDP и LERP для каждой системы должны быть меньше, чем предельные значения, определяемые соотношениями:

$$\Delta CDP = \Delta CDF_{Lim} \cdot T, \tag{5}$$

$$\Delta LERP = \Delta LERF_{Lim} \cdot T, \tag{6}$$

где ΔCDF_{Lim} и $\Delta LERF_{Lim}$ — предельные значения изменения ЧПАЗ и ЧБАВ, которые, в соответствии с 6.6.4, равны 10^{-7} в год и 10^{-8} в год, соответственно;

T — проектный срок службы АС.

Общее изменение в ΔCDP и $\Delta LERP$ для всех рассматриваемых в программе контроля трубопроводных систем должно быть меньше предельных значений, определяемых аналогичным образом с учетом того, что в соответствии с 6.6.4 ΔCDF_{Lim} и $\Delta LERF_{Lim}$ равны 10^{-6} в год и 10^{-7} в год соответственно. Если эти требования не выполнены, то периодичность контроля должна быть снижена, либо должны быть добавлены дополнительные зоны контроля.

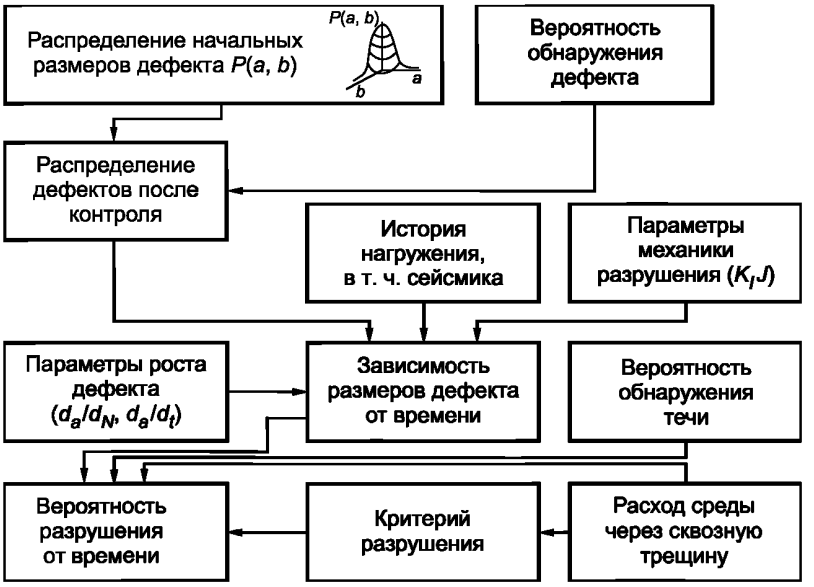
Приложение А
(справочное)

Методика расчета вероятности разрушения трубопроводов

А.1 Общие положения

В данном приложении содержатся основные требования к определению вероятности разрушения трубопровода в рассматриваемой зоне (СС) вследствие механизмов усталостного и коррозионно-усталостного роста дефектов без учета ползучести и приводятся основные методические положения по определению этой вероятности.

В соответствии с данным приложением вычисление вероятности разрушения основано на вычислении времени до разрушения, которое вычисляется детерминистически на основе принципов механики разрушения. Некоторые входные данные, к примеру размер начального дефекта, при этом являются случайными величинами. Вероятность разрушения определяется методом Монте-Карло, т. е. путем проведения серии детерминистических расчетов для различных наборов входных данных. Общий алгоритм проведения таких расчетов приведен на рисунке А.1.



K_I — коэффициент интенсивности напряжений, J—J-интеграл

Рисунок А.1 — Алгоритм определения вероятности разрушения

На первом шаге определяются распределение геометрических размеров начального дефекта и вероятность его обнаружения при неразрушающем контроле. Исходя из этих параметров определяется распределение начальной дефектности после проведения контроля. Далее, с учетом опыта эксплуатации, производится моделирование роста дефекта в соответствии с законами механики разрушения, оценивается выполнение критериев и рассчитывается вероятность разрушения. В случае обоснования концепции ТПР при определении вероятности разрушения СС может быть учтено, что сквозная трещина будет обнаружена системами контроля течи до того, как вырастет до критических размеров и произойдет разрушение.

А.2 Параметры механики разрушения

Основное влияние на скорость усталостного роста дефекта оказывает КИН. В случае упругопластического поведения материала напряжения и деформации в окрестности вершины трещины описываются при помощи J-интеграла. Величины K и J могут быть определены как численно, так и при помощи аналитических методик.

Основными видами дефектов, рассматриваемых в данном разделе, являются полуэллиптические дефекты в кольцевых сварных швах. В некоторых случаях, при наличии продольных СС (к примеру, в штампосварных коленах или прямых участках трубопроводов большого диаметра), необходимо рассмотреть продольно ориентированные полуэллиптические дефекты. В случае если из опыта эксплуатации известно, что в рассматриваемых СС возможны подповерхностные дефекты, то такие дефекты необходимо учесть в расчетах, считая, что они имеют эллиптическую форму.

При вычислении вероятности разрушения постулируется начальный полуэллиптический дефект на внутренней стенке трубопровода и рассматривается его подрост.

А.3 Вычисление подроста трещин

Подрост трещины может происходить по усталостному механизму и по механизму коррозионного растрескивания под напряжением, к примеру, МКРПН. При усталостном подросте размеры дефекта зависят от истории нагружения, в то время как при коррозионном росте размеры трещины зависят главным образом от величины нагрузки и времени, в течении которого эта нагрузка приложена.

При совместном коррозионно-усталостном росте дефекта необходимо на каждом шаге нагружения суммировать вклад от усталостного подроста, описываемого соотношением между $d_a/d_N - \Delta K$ и коррозионного роста, вычисляемого из соотношения между $d_a/d_t - K$.

Коррозионный и усталостный подросты дефектов по законам механики разрушения следует оценивать в соответствии с документом по стандартизации, содержащим требования к проведению расчетов элементов АС на стадии эксплуатации с учетом дефектов.

А.4 Критерии разрушения при наличии дефекта

А.4.1 Разрушение по нетто-сечению

Данный критерий применим для пластичных материалов, в которых доминирует вязкий механизм разрушения. Вязким считается материал с ударной вязкостью KCV более 60 Дж/см^2 при расчетной температуре. Если данное условие не выполняется, то необходимо использовать критерии разрушения, основанные на параметрах механики разрушения (K_I и J-интеграл). Вязкое разрушение происходит, когда растущий дефект приводит к предельному состоянию трубопровода, обусловленному пластической нестабильностью. Данный критерий разрушения основан на использовании напряжения пластической нестабильности материала σ_F. Предельное состояние компонентов и трубопроводов с поверхностной или сквозной трещиной наступает тогда, когда напряжение во всем ослабленном сечении в плоскости трещины достигает напряжения пластической нестабильности материала σ_F, которое определяется как $0{,}5(R_m + R_{p0,2})$.

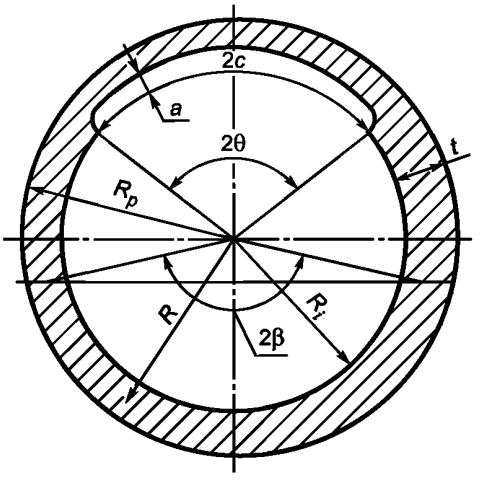


Рисунок А.2 — Труба с окружной трещиной

Условие исчерпания несущей способности трубы (образование пластического шарнира) с окружной трещиной длиной $2c$ и глубиной a (см. рисунок А.2) определяется следующим условием:

$$\sigma_m \geq \sigma_F \left(1 - 2\frac{\beta}{\pi} - \frac{a}{t}\frac{\theta}{\pi}\right), \qquad (А.1)$$

где σ_m — мембранные составляющие напряжений, МПа;

$\sigma_m = 0{,}5(R_m + R_{p0,2})$ — напряжение пластической нестабильности материала, МПа;

$$\beta = \arcsin\left[\frac{a}{t}\frac{\sin\theta}{2} + \frac{\pi}{4}\frac{\sigma_b}{\sigma_F}\frac{1 + t/(2R)}{1 + (t/2R)^2}\right]$$ — угол, характеризующий положение нейтральной линии;

σ_b — изгибные составляющие напряжений, МПа;

a — глубина трещины, мм;

t — толщина стенки, мм ($a/t = 1$ для сквозной трещины);

2θ — угловой размер трещины длиной $2c$ ($\theta = c/R$);

R — средний радиус сечения трубы, мм.

Данную методику следует применять при выполнении следующих условий:

- $\theta + \beta \leq \pi$ — при комбинированном нагружении внутренним давлением и изгибом;
- $2\theta \leq \pi$ — при нагружении только внутренним давлением.

Значения мембранных σ_m и изгибных σ_b составляющих напряжений в сечении, ослабленном трещиной, находятся из анализа напряженно-деформированного состояния в расчетных режимах с учетом фактических размеров и напряжений от температурного расширения. Напряжение пластической нестабильности σ_F зависит от свойств материала и может быть случайно распределена.

А.4.2 Методы механики разрушения

Для оценки критических размеров дефектов, при которых происходит разрушение, могут применяться методы упругопластической механики разрушения. В эту группу входят два типа методов: более простой расчет, при котором критическим является условие начала стабильного роста трещины с соответствующими предельными значениями (к примеру, $J < J_c$, где J_c — значение J-интеграла в начале роста трещины или $J \le J_{0,2}$, где $J_{0,2}$ — значение J-интеграла при подросте трещины на 0,2 мм) и более сложный расчет с учетом стабильного докритического роста дефектов с использованием соответствующих J-R кривых подроста (с использованием модуля разрыва T).

А.4.3 Разрушение трубы без дефекта

Вероятность разрушения трубы без дефекта оценивается путем вычисления вероятности превышения эквивалентными напряжениями по Мизесу от действия силовых нагрузок предела прочности материла трубы. Предел прочности предполагается нормально распределенной случайной величиной. Математическое ожидание и дисперсия являются исходными данными для расчета.

А.5 Распределение размеров трещин

Начальный размер трещины сильно влияет на (детерминированное) время жизни компонента. При вычислении вероятности разрушения следует рассматривать начальные полуэллиптические внутренние поверхностные дефекты, обычно окружные (если нет продольных СС). Для определения размера трещины необходимы две переменные (размеры полуосей): a и c. В дополнение к распределению размеров дефекта необходимо также определить вероятность его наличия в рассматриваемом СС. Распределение начальных дефектов состоит из трех составляющих:

- распределение глубины дефекта;
- распределение соотношения размеров дефекта (a/c);
- частоты существования дефектов.

В случае, если опыт эксплуатации указывает на наличие или возможность возникновения продольных дефектов, такие дефекты необходимо учитывать при расчете вероятности разрушения. Распределение размеров таких дефектов необходимо устанавливать с учетом результатов измерений, полученных при контроле, и опыта эксплуатации рассматриваемых СС. Характеристики распределений, приведенные в данном приложении, не распространяются на подобные дефекты.

А.5.1 Распределение глубины дефекта

При отсутствии других данных относительно распределения размеров существующих в трубопроводе дефектов рекомендуется использовать экспоненциальное распределение глубины трещины, нормированное на толщину трубы таким образом, чтобы глубина дефекта не превышала толщину трубы h в рассматриваемой зоне. Распределение плотности вероятности наличия дефекта глубиной a определяется соотношением:

$$p(a) = \frac{e^{-a/\mu}}{\mu\left(1 - e^{-\frac{h}{\mu}}\right)}, \quad 0 \le a \le h, \tag{А.2}$$

где μ = 6,248 мм.

Также может быть использовано логнормальное распределение глубин дефектов в соответствии с выражением:

$$p(a) = \frac{1}{\lambda a (2\pi)^{1/2}} exp\left(-\left[\frac{\ln(a/a_{50})}{\lambda\sqrt{2}}\right]^{1/2}\right), \tag{А.3}$$

где a_{50} — средняя глубина;

λ — параметр формы, который равен среднеквадратичному отклонению $\ln(a)$.

А.5.2 Распределение отношения размеров дефекта

В отсутствие других данных следует считать глубину и соотношение полуосей дефекта независимыми параметрами.

Рекомендуется принимать распределение отношения размеров дефекта экспоненциальным или логнормальным. В обоих случаях следует избегать ситуаций, когда полуширина дефекта меньше глубины ($c < a$). Если принять $\beta = c/a$, тогда плотность распределения вероятности параметра β запишется в виде:

$$p(\beta) = \begin{cases} 0, & \beta < 1 \\ \dfrac{2\exp\left(-\left[\ln(\beta/\beta_m)/\left(\lambda\sqrt{2}\right)\right]^2\right)}{\lambda\beta\sqrt{2\pi}\cdot \operatorname{erfc}\left(\left[\ln(1/\beta_m)/\sqrt{2}\lambda\right]\right)}, & \beta > 1. \end{cases} \tag{А.4}$$

В этом случае необходимо задание параметра λ. Для смещенного логнормального распределения плотность вероятности следует считать в соответствии с выражением:

$$p(\beta)=\begin{cases}0, & \beta<1\\ \dfrac{2\exp\left(-\left[\ln(\beta/\beta_m)/\left(\lambda\sqrt{2}\right)\right]^2\right)}{\lambda\beta\sqrt{2\pi}\cdot\operatorname{erfc}\left(\left[\ln(1/\beta_m)/\sqrt{2\lambda}\right]\right)}, & \beta>1,\end{cases} \tag{A.5}$$

где входными величинами будут β_m и λ;

erfc — дополнительная функция ошибок, определяемая выражением:

$$\operatorname{erfc}(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^{\infty}e^{-t^2}dt\,. \tag{A.6}$$

Известно, что расчетная вероятность разрушения трубы слабо зависит от распределения размеров трещины. Тем не менее, в отсутствие других данных по распределению начальных дефектов для экспоненциального распределения следует принимать λ = 0,869. Для логнормального распределения рекомендуется использовать значения λ = 0,5382 и β_m = 1,336.

А.5.3 Вероятность наличия дефекта

При анализе вероятности разрушения необходимо оценивать возникновение и рост коррозионных трещин и/или подрост существующих дефектов вследствие усталости и/или коррозионного растрескивания. В случае подроста уже существующих начальных дефектов вероятность их присутствия в СС зависит от объема СС и прилегающей зоны термического влияния, ширину которой следует принять равной двум толщинам трубы (*2h*). Тогда объем *V* рассматриваемого СС равен:

$$V=2\pi D_{\text{in}}h^2, \tag{A.7}$$

где D_{in} — внутренний диаметр;

h — толщина.

Количество имеющихся дефектов на единицу объема p_V^* следует считать распределенной по закону Пуассона. В этом случае вероятность существования в рассматриваемом объеме более одной трещины пренебрежимо мала, следовательно, следует рассматривать вероятность существования только одной трещины (дефекта) в данном СС *P*(1).

Вероятность существования дефектов в объеме *V* СС:

$$P^*=1-e^{-Vp_V^*}\sim Vp_V^*\,. \tag{A.8}$$

Вероятность существования только одного дефекта в объеме *V*СС:

$$P(1)=Vp_V^*e^{-Vp_V^*}\sim Vp_V^*\,. \tag{A.9}$$

При отсутствии других данных следует принимать величину p_V^* равной $6{,}1\cdot10^{-5}$ мм$^{-3}$.

А.5.4 Комбинация существующих и зародившихся дефектов

В трубопроводах, выполненных из аустенитных сталей, разрушение может произойти как от имеющегося начального дефекта, так и от дефекта, зародившегося и выросшего в процессе эксплуатации. В большинстве случаев разрушение происходит в результате одной из вышеназванных причин, однако в некоторых случаях эти механизмы делают сравнимый вклад в повреждение СС, поэтому их необходимо рассматривать совместно согласно следующему правилу.

Суммарная вероятность разрушения СС в течение времени *t*, с учетом существования одного начального дефекта и возможности зарождения коррозионных дефектов, определяется следующим соотношением:

$$P(t_f<\text{t})=(1-P^*)[P(t_f<t)|\text{без начального дефекта}]+P^*[P(t_f<t)|\text{с первым дефектом}], \tag{A.10}$$

где $P_f(t_f<t)$ — вероятность разрушения за время *t*;

P^* — вероятность существования дефекта в объеме *V*СС.

Трещины, зародившиеся в процессе эксплуатации, вносят ощутимый вклад в повреждение СС только если размер рассматриваемого начального дефекта достаточно мал. Для уменьшения времени расчета следует установить граничное значение размера начального дефекта, при превышении которого повреждение СС определяется только подростом начального дефекта и зарождение коррозионных трещин не учитывается в расчетах.

А.6 Зарождение и ранний рост дефектов при коррозионном растрескивании под напряжением

Зарождение коррозионных дефектов следует учитывать в случае, если выполняются условия, указанные в А.6.1 и/или опыт эксплуатации указывает на наличие таких дефектов. Рост коррозионного дефекта делится на две стадии:

- ранний рост дефекта, описываемый эмпирическим законом;
- последующий рост дефекта, определяемый механикой разрушения.

А.6.1 Время до зарождения дефекта

Для зарождения коррозионной трещины (в т. ч. по механизму МКРПН) необходимы следующие три условия:

- сенсибилизация: изменение микроструктуры металла, подверженного длительному воздействию высокой температуры, что обычно происходит при сварке;
- приложенная нагрузка или остаточные напряжения в СС, которые возникают в том числе в процессе сварки;
- влияние среды: повышенная концентрация кислорода в теплоносителе является фактором, стимулирующим коррозионное растрескивание;

А.6.1.1 Постоянные условия нагружения

Для определения времени до зарождения коррозионной трещины вводится параметр повреждения D, который включает в себя три вышеописанных условия:

$$D = f_1 \text{ (материал) } f_2 \text{ (среда) } f_3 \text{ (нагрузка)}. \quad (А.11)$$

Время до зарождения следует считать случайной величиной, зависящей от параметра D. Функции f имеют следующий вид:

$$f_1 = C_1(Pa)^{C_2}, \quad (А.12)$$

где Pa — степень сенсибилизации, Кл/см^2.

$$f_2 = O_2 \exp\left[\frac{C_4}{T+273}\right] \lg\left(C_5 \gamma^{C_6}\right), \quad (А.13)$$

где O_2 — концентрация кислорода (частиц на миллион);

T — температура, °С,

γ — проводимость воды, мкС/см (микро-Сименс на см).

Функция f_3 является функцией от скорости деформаций при переменной нагрузке и напряжений в случае постоянной нагрузки.

В случае переменной нагрузки $f_{3\varepsilon}$ записывается в виде:

$$f_{3\varepsilon} = \dot{\varepsilon}^{C_7}, \quad (А.14)$$

где $\dot{\varepsilon}$ — скорость деформации, 1/с.

В случае постоянной нагрузки:

$$f_{3\sigma} = (C_8 \sigma^{C_9})^{C_7}, \quad (А.15)$$

где σ — средние напряжения по толщине стенки в месте зарождения дефекта в МПа. Константы C_1—C_9 определяются экспериментально. Результаты экспериментальных исследований должны пройти оценку соответствия согласно требованиям действующей нормативной документации.

Время до зарождения дефекта t_I при заданных условиях (т. е. при заданном параметре D) полагается логнормально распределенным. Среднее значение $\lg(t_I)$ определяется согласно соотношению:

$$\overline{\lg(t_I)} = B_0 + B_1 \lg(D), \quad (А.16)$$

где t_I — время до зарождения дефекта, ч.

В таблице А.2 для справки приведены значения констант для нержавеющей стали 304.

Стандартное отклонение $\lg(t_I)$ является функцией параметра повреждаемости D:

$$S(\lg(t_I)) = B_2 + B_3 \lg(D). \quad (А.17)$$

Константы B_0—B_3 определяются экспериментально. Результаты экспериментальных исследований должны пройти оценку соответствия согласно требованиям действующей нормативной документации.

А.6.1.2 Переменные условия нагружения

В соответствии с А.5.1 можно построить распределение вероятности зарождения дефекта для отдельных состояний РУ (при постоянном или изменяющемся нагружении).

Функция распределения вероятности зарождения дефекта для всей истории РУ строится таким образом, чтобы на каждом временном отрезке, характеризующем состояние РУ, вероятность зарождения дефекта определялась распределением, полученным для данного отрезка.

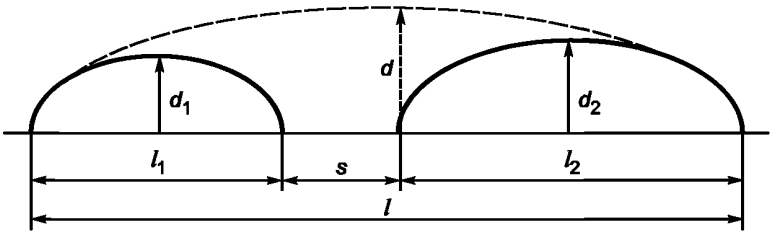
А.6.1.3 Множественные дефекты и их размеры при зарождении

Характеристики распределения времени зарождения дефекта и их размеров получены в лабораторных условиях и справедливы для участка СС длиной 5 см. При анализе реального СС его длину нужно разбить на участки по 5 см, время зарождения дефекта в каждом участке следует считать независимым. Зарождающиеся дефекты следует считать полуэллиптическими, располагающимися на внутренней поверхности. Напряжения могут изменяться при переходе от участка к участку, при этом следует учитывать изгибные и остаточные напряжения.

Длину зародившегося дефекта (2c) следует считать случайной величиной логнормально распределенной, со средним значением равным 3 мм. Стандартное отклонение $\ln(c)$ равно 0,85. Глубина зародившегося дефекта постулируется равной 0,025 мм.

Таким образом в одном СС может развиваться одновременно несколько дефектов. В случае, если два и более дефекта окажутся друг от друга на расстоянии менее двух глубин одного из них, то необходимо объединить

их в один дефект, длина которого будет равняться сумме длин обоих дефектов и расстояния между ними. Глубина получившегося дефекта принимается равной наибольшей глубине одного из дефектов (см. рисунок А.3).



Если $s < \max [d_1; d_2]$ — объединение

Рисунок А.3 — Объединение дефектов при коррозионном растрескивании

$$l = l_1 + l_2 + s \quad (A.18)$$

$$d = \max [d_1; d_2] \quad (A.19)$$

А.6.1.4 Распределение степени сенсибилизации

Для расчёта степени сенсибилизации металла рекомендуется использовать распределением Вейбулла:

$$P(Pa < x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}, \quad (A.20)$$

где константы b и c определяются экспериментально.

Уравнение (А.20) определяет достаточно высокую степень сенсибилизации, при которой наблюдается растрескивание, и является консервативным.

А.6.2 Скорость роста дефекта после его зарождения

Рост дефекта, непосредственно после зарождения обычно не описывается параметрами механики разрушения (к примеру, КИН). Законы механики разрушения для прогнозирования его роста могут быть использованы после того, как дефект достигнет определенного размера.

Таким образом рост трещин от по механизму коррозионного растрескивания под напряжением состоит из двух частей:

- ранней фазы, обработанной с помощью средств, аналогичных тем, которые используются для инициирования, и
- более поздней фазы, описываемой законами механики разрушения. Предполагается, что зародившаяся трещина растет с постоянной скоростью до тех пор, пока условия не будут подходящими для роста трещины, контролируемого механикой разрушения. Показатели роста, контролируемые механикой разрушения, регламентируются документом по стандартизации, содержащим требования к проведению расчетов элементов АС на стадии эксплуатации с учетом дефектов.

Рост дефекта и переход из одной фазы роста в другую определяется следующими условиями:

- постулируемые начальные трещины всегда растут со скоростью, определяемой механикой разрушения;
- зародившимся трещинам присваивается начальная скорость роста на первой фазе;
- если в какой-либо момент времени скорость роста дефекта по законам механики разрушения становится выше скорости роста, полученной на первой фазе, то далее этот дефект растет со скоростью, определяемой механикой разрушения;
- если глубина дефекта превышает 2,5 мм, то он будет расти со скоростью, определяемой механикой разрушения;
- если КИН в какой-либо точке дефекта является отрицательным, то трещина не будет расти в направлении, соответствующем данному КИН.

Скорость раннего роста зародившихся дефектов ($\dot{a}$) характеризуется логнормальным распределением для заданного параметра D. При этом среднее значение $\lg(\dot{a})$ линейно зависит от $\lg(D)$, стандартное отклонение не зависит от D.

$$\lg(\dot{a}) = F + G \cdot \lg(D), \quad (A.21)$$

где D (или D_c), G — константы,

F — нормально распределенная случайная величина.

А.7 Учет остаточных напряжений

Остаточные напряжения, возникающие в процессе сварки, играют важную роль в подросте дефектов по механизму коррозионного растрескивания, поэтому их необходимо учитывать. Остаточные напряжения следует рассматривать только в осевом направлении трубопровода в ЗТВ.

Следует учитывать, что остаточные напряжения могут быть уменьшены при помощи процедур индукционного нагрева и механического обжатия.

Остаточные напряжения могут быть заданы детерминистически как осесимметричные изменяющиеся по толщине стенки линейно или нелинейно (с заданным полиномиальным законом изменения).

Распределение остаточных напряжений по толщине также может быть задано функцией, зависящей от случайных величин.

А.8 Учет сейсмических событий

Время и величина сейсмического воздействия детерминированы и являются входными данными для анализа. Для каждого рассматриваемого сейсмического события должно быть определено:

- количество эквивалентных циклов;
- эквивалентное напряжения цикла (половина эквивалентной амплитуды);
- максимальное напряжение за все время прохождения события.

В рассматриваемом подходе время прохождения землетрясения задается заранее.

Эквивалентное напряжение цикла и количество эквивалентных циклов должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить такой же (или больший) подрост дефекта, как и история сейсмического нагружения. После вычисления подроста дефекта вследствие прохождения землетрясения и проверки рассматриваемого СС по критерию разрушения с максимальными сейсмическими напряжениями размеры дефекта возвращаются до состояния, предшествующего землетрясению.

Таким образом можно определить вероятность разрушения трубопровода при условии прохождения землетрясения в указанное время.

А.9 Учет вероятностного обоснования ТПР

В случае, если для рассматриваемого СС выполнено вероятностное обоснование концепции ТПР в соответствии с действующими НД, то при анализе роста дефекта может быть учтена вероятность его обнаружения системами контроля течи до достижения им критических размеров и разрыва трубопровода. В этом случае вероятность разрушения будет произведением вероятности существования дефекта критических размеров на вероятность того, что такой дефект не будет заранее обнаружен системами контроля течи.

А.10 Гидроиспытания

В процессе оценки вероятности разрушения следует учитывать гидроиспытания, проходящие в процессе эксплуатации. В случае, если в рассматриваемом СС с дефектом не выполняется критерий разрушения при условиях гидроиспытаний, то дальнейший рост дефекта продолжается. В случае, если в процессе ГИ фиксируется разрушение СС, то данное СС считается отремонтированным и в дальнейшем должно обрабатываться как новое. Так как в данном случае разрушение произошло не в процессе эксплуатации, то при расчете вероятности разрушения методом Монте-Карло значение знаменателя в соотношении А.21 не изменится.

А.11 Расчет вероятности разрушения методом Монте-Карло

Для расчета вероятности разрушения СС может использоваться метод Монте-Карло. Данный метод основан на получении большого числа реализаций случайного процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи.

Основные уравнения метода Монте-Карло при решении задачи определения вероятности разрушения СС:

$$P(t_F \le t) \approx \frac{N_F(t)}{N}, \tag{А.22}$$

$$P\left[t_F \le t \middle| EQ(g,t)\right] \approx \frac{N_F(g,t)}{N}, \tag{А.23}$$

где N — количество симуляций роста дефектов в течение времени t;

$N_F(t)$ — количество симуляций, в которых произошло разрушение до момента времени t;

$N_F(g, t)$ — количество симуляций, в которых произошло разрушение до или в момент времени t при условии, что в момент времени t происходит землетрясение интенсивностью g;

$P(t_F \le t)$ — вероятность разрушения рассматриваемого СС до достижения момента времени t;

$P[t_F \le t \,|EQ(g, t)]$ — вероятность разрушения рассматриваемого СС до достижения момента времени t; история нагружения включает землетрясение интенсивностью g в момент времени t.

Двумерный рост дефекта может быть описан параметрами a/h и a/c. Этими же параметрами характеризуется распределение начальных дефектов. При этом необходимо исключать из рассмотрения дефекты с параметрами $a/c \approx 0$, у которых длина дефекта больше окружности трубы. Точки, исключаемые из рассмотрения, удовлетворяют условию:

$$\frac{a}{c} < \frac{h}{2\pi R_{in}}\left(\frac{a}{h}\right). \tag{А.24}$$

Прямая оценка с помощью уравнений (А.23) и (А.24) с использованием простой случайной выборки, в которой начальные размеры дефектов выбираются в соответствии с их постулированными частотами появления, является вычислительно неэффективной. В этом случае для оценки вероятности редких событий (к примеру, больших начальных дефектов) требуется провести большое количество симуляций.

Для ускорения расчетов может быть использована стратифицированная выборка. При этом все пространство выборки разделяется на набор непересекающихся областей — ячеек. Затем в каждой ячейке проводится заранее определенное количество симуляций. Индивидуальные размеры начальных дефектов в каждой ячейке выбираются в соответствии с постулированным начальным распределением размеров. Распределение времени до разрушения запишется следующим образом:

$$P\left[t_F \le t \middle| \overline{EQ}\right] = \sum_{m=1}^{M} \frac{N_{F,m}(t)}{N_m} p_m , \tag{А.25}$$

$$P\left[t_F \le t \middle| EQ(g,t)\right] = \sum_{m=1}^{M} \frac{N_{F,m}(g,t)}{N_m} p_m , \tag{А.26}$$

где M — общее количество ячеек;

N_m — количество симуляций в m-й ячейке;

$N_{F,\,m}(t)$ — количество симуляций из m-й ячейки, в которых произошло разрушение до или в момент времени t;

$N_{F,\,m}(g,\,t)$ — количество симуляций из m-й ячейки, в которых произошло разрушение до или в момент времени t при условии, что в момент времени t происходит землетрясение интенсивностью g;

p_m — вероятность того, что начальный дефект имеет размеры внутри данной ячейки;

$P[t_F \le t\,|EQ]$ — вероятность разрушения рассматриваемого СС до достижения момента времени t.

В случае, если рассматривается зарождение дефектов по механизму коррозионного растрескивания под напряжением, то стратификация выборки не применяется и для вычисления вероятности разрушения используются соотношения (А.22) и (А.23).

Библиография

[1]	НП-089-15	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок»
[2]	НП-084-15	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций»
[3]	НП-044-18	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под избыточным давлением, для объектов использования атомной энергии»
[4]	НП-045-18	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды для объектов использования атомной энергии»
[5]	ASME Boiler Pressure Vessel Code	Стандарт Американского общества инженеров-механиков по котлам и сосудам, работающим под давлением
[6]	НП-001-15	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций»
[7]	НП-096-15	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения»
[8]	НП-017-18	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к продлению срока эксплуатации блока атомной станции»
[9]	НП-095-15	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Основные требования к вероятностному анализу безопасности блока атомной станции»
[10]	РБ-032-04	Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций»
[11]	РБ-024-11	Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Положение об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних инициирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции»
[12]	Руководство №SSG-3 МАГАТЭ	Разработка и применение вероятностного анализа безопасности 1-го уровня для атомных электростанций. Вена: 2010.
[13]	Руководство №SSG-4 МАГАТЭ	Разработка и применение вероятностного анализа безопасности 2-го уровня для атомных электростанций. Вена: 2010
[14]	РБ-044-09	Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Основные рекомендации к вероятностному анализу безопасности уровня 2 атомных станций с реакторами типа ВВЭР»

УДК 621.039:006.354 ОКС 27.120.99

Ключевые слова: система соответствия в области атомной энергии, атомная станция, неразрушающий контроль, контроль металла оборудования, порядок обоснования объемов и периодичности

БЗ 4—2019/45

Редактор *Е.А. Моисеева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 09.04.2019. Подписано в печать 15.05.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,37.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru