Технический комитет по стандартизации
“Трубопроводная арматура и сильфоны“ (ТК 259)

Закрытое акционерное общество «Научно-производственная фирма
«Центральное конструкторское бюро арматуростроения»

СТАНДАРТ ЦКБА

СТ ЦКБА 008.1-2007

Арматура трубопроводная

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Часть 1
Методика расчета и оценки показателей надежности и назначенных показателей на этапе проектирования

ЗАО «НПФ «ЦКБА»
2007

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Научно-производственная фирма «Центральное конструкторское бюро арматуростроения» (ЗАО «НПФ «ЦКБА»)

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом от 29.01.2007 г. № 6

3 СОГЛАСОВАН Северо– Европейским округом Ростехнадзора (письмо от 21.12.2005 г. № 4 – 10 – 4 / 638)

4 СОГЛАСОВАН Техническим комитетом «Трубопроводная арматура и сильфоны» (ТК 259)

5 ВЗАМЕН РД 24–207– 06–90 «Арматура трубопроводная. Расчет показателей надежности на этапе проектирования»

По вопросам заказа стандартов ЦКБА обращаться

в «НПФ «ЦКБА» по телефонам (812) 331-27-52, 331-27-43

E-mail: ckba121@ckba.ru

195027, Россия, С-Петербург, пр.Шаумяна, 4, корп.1, лит.А.

© ЗАО «НПФ «ЦКБА»

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ЗАО «НПФ «ЦКБА»

Содержание

1 Область применения……4
2 Нормативные ссылки……..5
3 Термины и определения……..5
4 Общие положения……..9
5 Рекомендации по расчету и оценке надежности……14
6 Методы расчета показателей безотказности……16
7 Методы расчета показателей долговечности……28
8 Расчет и оценка назначенных показателей……29
9 Требования к оформлению расчета……30
10 Библиография…… ..30
Лист регистрации изменений……32

СТАНДАРТ ЦКБА

Арматура трубопроводная

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Часть 1
Методика расчета и оценки показателей надежности и назначенных показателей на этапе проектирования

Дата введения 01.07.2007 г.

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубопроводную арматуру (далее–арматуру) и устанавливает методику расчета и оценки значений показателей надежности (безотказности и долговечности) и назначенных показателей (технико-эксплуатационных характеристик) арматуры, ее узлов и приводных устройств к ней на этапе проектирования.

Положения настоящего стандарта, определяющие дополнительные или специальные требования к арматуре для атомных станций, выделены в тексте курсивом.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"

ГОСТ 27.001-95 Система стандартов «Надежность в технике»

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

ГОСТ 27.003-90 Состав и общие правила задания требований по надежности

ГОСТ 27. 301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

ГОСТ 27.410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность

ГОСТ 25804.6-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных станций. Методы оценки соответствия требованиям по надежности

ГОСТ 26291-84 Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей

РД 50-690-89 Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. Методические указания

РД 302-07-278-89 Арматура трубопроводная. Порядок нормирования и контроля показателей надежности

НП–068-05 Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования

НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ - 88/97)

НП-033-01 (ОПБ ИЯУ) Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок

ПБ 03-182-98 Правила безопасности для наземных складов жидкого аммиака

ПБ 03-576-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением

ПБ 03-585-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов

ПБ 08-624-03 Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности

ПБ 09-594-03 Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора

ПБ 10-574-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов

ПНАЭ Г-7-008-89 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

3 Термины и определения

авария: Разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ [1].

авария: Нарушение эксплуатации атомной станции (АС), при котором произошел выход радиоактивных веществ и/или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями [5].

авария запроектная: Авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными ава-

риями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала [5].

авария проектная: Авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или одной, независимой от исходного события ошибки персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами [5].

аварии последствия: Возникшая в результате аварии радиационная обстановка, наносящая убытки и вред из-за превышения установленных пределов радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду [5].

безопасность АС, ядерная и радиационная (далее - ***безопасность АС***): Свойство АС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами [5].

безотказность: Свойство арматуры непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки [2].

вероятность безотказной работы: Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ арматуры не возникнет [2].

долговечность: Свойство арматуры сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта [2].

испытания на надежность: Испытания, проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях [4].

Примечание. В зависимости от исследуемого свойства различают испытания на безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность (ресурсные испытания).

коэффициент готовности: Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается [2].

коэффициент оперативной готовности: Вероятность того, что арматура окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение арматуры по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени [2].

критерии безопасности: Установленные нормативными документами и/или органами государственного регулирования безопасности значения параметров и/или характеристик АС, в соответствии с которыми обосновывается ее безопасность [5].

критерий отказа: Признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния арматуры, установленные в нормативной и/или конструкторской документации [2].

критичность отказа: Совокупность признаков, характеризующих последствия отказа [2].

надежность: Свойство арматуры сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [2].

наработка: Продолжительность или объем работы арматуры [2].

наработка до отказа: Наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа [2].

наработка на отказ: Отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки [2].

отказ: Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния арматуры [2].

отказ безопасный: Отказ системы или элемента, при возникновении которого АС переходит в безопасное состояние без необходимости инициирования каких-либо действий через управляющие системы безопасности (УСБ) [5].

отказ деградационный: Отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации [2].

Отказ зависимый (Частный случай отказа по общей причине): Отказ системы (элемента), являющийся следствием другого отказа или события [5].

отказ конструктивный: Отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования [2].

отказы по общей причине: Отказы систем (элементов), возникающие вследствие одного отказа или ошибки персонала, или внешнего или внутреннего воздействия, или иной внутренней причины [5].

Примечание:

1. Внутренние воздействия или причины - воздействия, возникающие при исходных событиях аварий, включая ударные волны, струи, летящие предметы, изменение параметров среды (давления, температуры, химической активности и т.п.), пожары и т.п., конструктивные, технологические и прочие внутренние причины.

2. Внешние воздействия - воздействия характерных для площадки АС природных явлений и деятельности человека, например, землетрясения, высокий и низкий уровень наземных и подземных вод, ураганы, аварии на воздушном, водном и наземном транспорте, пожары, взрывы на прилегающих к АС объектах и т.п.

отказа последствия: Явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением отказа арматуры [2].

отказа причина: Явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа арматуры [2].

отказ производственный: Отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии [2].

отказ эксплуатационный: Отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации [2].

оценка надежности: Процедура установления соответствия количественных значений показателей надежности, полученных в результате расчета требуемым значениям показателей надежности.

подход консервативный: Подход к проектированию и конструированию, когда при анализе аварий для параметров и характеристик принимаются значения и пределы, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам [5].

пределы проектные: Значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и АС в целом, установленные в проекте для нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая предаварийные ситуации и аварии [5].

принцип единичного отказа: Принцип, в соответствии с которым система должна выполнять заданные функции при любом требующем ее работы исходном событии и при независимом от исходного события отказе одного любого из активных элементов или пассивных элементов, имеющих механические движущиеся части [5].

расчет надежности: Процедура определения значений показателей надежности объекта с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надежности элементов объекта, по данным о надежности объектов-аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета [3].

резервирование: Способ обеспечения надежности арматуры за счет использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций [2].

ресурс: Суммарная наработка арматуры от начала ее эксплуатации или возобновления ее эксплуатации после ремонта до перехода в предельное состояние [2].

ресурс назначенный: Суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация арматуры должна быть прекращена независимо от ее технического состояния [2].

система (элемент) активная: Система (элемент), функционирование которой зависит от нормальной работы другой системы (элемента) (например, энергоисточника и т.п.) [5].

системы (элементы) безопасности: Системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности [5].

системы (элементы), важные для безопасности: Системы (элементы) безопасности, а также системы (элементы) нормальной эксплуатации, отказы которых нарушают нормальную эксплуатацию АС или препятствуют устранению отклонений от нормальной эксплуатации и могут приводить к проектным и запроектным авариям [5].

системы (элементы) безопасности защитные: Системы (элементы), предназначенные для предотвращения или ограничения повреждений ядерного топлива, оболочек твэлов, оборудования и трубопроводов, содержащих радиоактивные вещества [5].

системы (элементы) независимые: Системы (элементы), для которых отказ одной системы (элемента) не приводит к отказу другой системы (элемента) [5].

системы (элементы) нормальной эксплуатации: Системы (элементы), предназначенные для осуществления нормальной эксплуатации [5].

системы (элементы) безопасности локализующие: Системы (элементы), предназначенные для предотвращения или ограничения распространения выделяющихся при авариях радиоактивных веществ и ионизирующего излучения за предусмотренные проектом границы и их выхода в окружающую среду [5].

системы (элементы) безопасности обеспечивающие: Системы (элементы), предназначенные для снабжения систем безопасности энергией, рабочей средой и создания условий для их функционирования [5].

системы (элементы) безопасности управляющие: Системы (элементы), предназначенные для инициирования действий систем безопасности, осуществления контроля и управления ими в процессе выполнения заданных функций [5].

событие исходное: Единичный отказ в системах (элементах) АС, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и/или условий безопасной эксплуатации. Исходное событие включает все зависимые отказы, являющиеся его следствием [5].

состояние предельное: Состояние арматуры, при котором ее дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление ее работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [2].

состояние работоспособное (работоспособность): Состояние арматуры, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации [2].

срок службы: Календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации арматуры или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние [2].

срок службы назначенный: Календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация арматуры должна быть прекращена независимо от ее технического состояния [2].

элемент: Составная часть объекта, рассматриваемая при расчете надежности как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению [3].

элементы: Оборудование, приборы, трубопроводы, кабели, строительные конструкции и другие арматуры, обеспечивающие выполнение заданных функций самостоятельно или в составе систем и рассматриваемые в проекте в качестве структурных единиц при выполнении анализов надежности и безопасности [5].

4 Общие положения

4.1 Надежность и безопасность арматуры специального назначения

4.1.1 Оценка надежности арматуры на этапе проектирования проводится с целью:

- получения количественных значений показателей надежности, для включения в техническую документацию на арматуру;
- сравнения различных вариантов конструкции арматуры;
- выявления узлов, деталей и комплектующих элементов, лимитирующих надежность арматуры;
- проверки соответствия прогнозируемого уровня надежности требованиям технического задания;
- обоснования количественных требований по надёжности к арматуре, элементам и распределения их значений по элементам конструкции;
- обоснования и проверки эффективности предлагаемых мер по доработке конструкции, технологии изготовления, периодичности ТО и Р.
- решения задач безопасности и оценки риска.

4.1.2 Показатели надежности должны устанавливаться в техническом задании (ТЗ) на разработку или в документе, заменяющем ТЗ, с учетом действующих технических регламентов, стандартов на конкретные типы и виды арматуры и указываться в эксплуатационной документации.

4.1.3 Оценка безопасности арматуры на этапе проектирования проводится с целью:

- определения факторов риска;
- определения и принятия мер по устранению или сведения к минимуму возможного риска;
- определения и принятия соответствующих защитных мер против тех факторов риска, которые невозможно устранить.

Арматура, подлежащая применению на опасных производственных объектах, должна быть сертифицирована в соответствии с Федеральным законом ФЗ-116 на соответствие требованиям промышленной безопасности.

4.1.4 Арматура должна быть спроектирована, исходя из показателей назначения и с учетом всех видов нагрузок, которые могут возникнуть при ее эксплуатации.

4.1.5 Безотказность и долговечность арматуры на этапе проектирования обеспечиваются:

- конструктивным исполнением арматуры;
- выбором материалов деталей арматуры и сварных соединений, находящихся под давлением и соприкасающихся с рабочей средой, отвечающих условиям эксплуатации (давление, температура, состояние рабочей среды, характеристика окружающей среды);
- выполнением соответствующих расчетов на прочность при установленных параметрах и характеристиках, обеспечением необходимого запаса прочности, с учетом предполагаемой скорости коррозии (эрозии) и внешних воздействий;
- проведением в необходимом объеме испытаний отдельных сборочных единиц, деталей, макетов и опытных образцов проектируемой арматуры с целью подтверждения правильности принятых конструктивных решений, обеспечивающих ее работоспособность, надежность и безопасность.

4.1.6 Конструкция арматуры должна обеспечивать ее работоспособность и безопасность в рабочих условиях, исходя из следующих видов опасности:

- механическая;
- электрическая;
- термическая;
- ядерная;
- радиационная;

- биологическая;
- химическая – токсическое поражение (отравление);
- взрывоопасность;
- пожароопасность;
- воздушный шум и вибрация.

Разработка конструкции арматуры должна осуществляться с учетом требований безопасности действующих нормативных документов, применяемых на объектах, где предполагается эксплуатация арматуры (например, ПБ 03-182-98, ПБ 03-576-03, ПБ 03-585-03, ПБ 08-624-03, ПБ 09-594-03, ПБ 10-574-03 и других).

4.1.7 Конструкция приводов арматуры должна обеспечивать ее работоспособность и соответствовать требованиям нормативных документов для каждого типа привода.

4.1.8 Безотказность и долговечность арматуры на этапе проектирования при определении производственного процесса, обусловливаются разработкой и включением в техническую документацию требований по организации на предприятии-изготовителе надежных методов контроля материалов, сборочных единиц, деталей, и проведению всех видов испытаний серийной продукции (приемочных, приемосдаточных, периодических, сертификационных и др.).

4.1.9 При проектировании трубопроводной арматуры, предназначенной для эксплуатации на опасном производственном объекте, для всех этапов жизненного цикла должны быть установлены назначенные показатели и показатели надежности, обеспечивающие безопасное и надежное функционирование арматуры.

4.1.10 Для определения номенклатуры показателей надежности арматуры и назначенных показателей должны быть определены классификационные признаки арматуры по ГОСТ 27.003, исходя из условий эксплуатации, конструкции и требований технического задания на проектирование.

4.1.11 Как правило, арматура для опасных производственных объектов относится к классу ремонтируемых, восстанавливаемых изделий с регламентируемой дисциплиной восстановления, с назначенной продолжительностью эксплуатации. Для нее, в соответствии с ГОСТ 27.003, РД 302-07-278-89 должны быть определены и указаны в эксплуатационной документации следующие показатели:

1) назначенные показатели:
- назначенный срок службы (в годах);
- назначенный ресурс (в часах, циклах);

2) показатели надежности:
- показатели долговечности:

а) средний срок службы до списания (полный) и/или средний срок службы до капитального ремонта, (в годах);

б) средний ресурс до списания (полный) и/или средний ресурс до капитального ремонта (в часах, циклах);

- показатели безотказности:

а) средняя наработка на отказ (в часах, циклах) для изделий, отказы которых не существенно влияют на работоспособность и безопасность системы; или

б) вероятность безотказной работы (ВБР) для изделий, отказы которых могут иметь критический характер и/или по условиям эксплуатации требуется высокая безотказность арматуры;

- комплексные показатели для арматуры опасных объектов, работающей в режиме ожидания:

а) коэффициент готовности или

б) коэффициент оперативной готовности

- дополнительно, другие показатели (сохраняемости, ремонтопригодности), исходя из условий эксплуатации и требований технического задания на проектирование.

4.1.12 Для арматуры опасных производственных объектов, относящейся к классу невосстанавливаемых изделий с назначенной продолжительностью эксплуатации, должны

быть в соответствии с ГОСТ 27.003, РД 302-07-278-89 определены и указаны в эксплуатационной документации следующие показатели:

1) назначенные показатели:

- назначенный срок службы (в годах);
- назначенный ресурс (в часах, циклах);

2) показатели надежности:

- показатели долговечности:

а) средний срок службы до списания (полный) (в годах);

б) средний ресурс до списания (полный) (в часах, циклах);

- показатель безотказности:

а) вероятность безотказной работы (ВБР);

3) комплексные показатели для арматуры опасных объектов, работающей в режиме ожидания:

а) коэффициент готовности или

б) коэффициент оперативной готовности;

- дополнительно, показатель сохраняемости – средний срок сохраняемости.

4.1.13 Расчет надежности трубопроводной арматуры производится, исходя из следующих потенциально возможных конструктивных и производственных отказов* ее узлов и деталей, с учетом их критичности:

- потеря герметичности по отношению к внешней среде по корпусным деталям:

а) разрушение, с выбросом рабочей среды в атмосферу;

б) потение, капельная течь, газовая течь;

- потеря герметичности по отношению к внешней среде по сальниковому уплотнению:

а) разрушение или утрата герметизирующих свойств сальника, с выбросом рабочей среды в атмосферу;

б) потеря герметичности в сальнике, не устранимая подтяжкой;

- потеря герметичности в затворе сверх допустимых пределов;
- потеря герметичности по отношению к внешней среде по неподвижным соединениям:

а) разрушение уплотнительного элемента;

б) потеря герметичности, не устранимая подтяжкой;

- невыполнение функций «открытия-закрытия»;
- не предусмотренное регламентом выполнение функции «открытия-закрытия»;
- несоответствие времени срабатывания, установленному в нормативной документации (для отсечной арматуры).

* П р и м е ч а н и е. Перечень отказов может уточняться в процессе проектирования в зависимости от условий эксплуатации и конструкции арматуры.

4.1.14 Критичность отказа арматуры определяется в зависимости от тяжести его потенциально возможных последствий на месте предполагаемой эксплуатации.

4.2 Дополнительные и специальные требования по надежности и безопасности арматуры АС

4.2.1 Арматура для АС проектируется исходя из назначения, степени влияния на безопасность АС и характера выполняемых функций системами и элементами, в которых она устанавливается.

4.2.2 При разработке арматуры должна быть разработана частная программа обеспечения качества – ПОКАС(Р).

Допускается использовать типовые программы, если они учитывают специфику вновь разрабатываемой арматуры.

4.2.3 Проектируемая арматура должна отвечать требованиям правил устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, в соответствии с которыми она разделена на три группы:

«А» - (относящуюся к 1 классу безопасности) арматура, разрушение которой приводит к превышению установленных для проектных аварий пределов повреждения тепловыделяющих элементов при проектном функционировании систем безопасности, а также корпуса реакторов и технологические каналы любых АС независимо от последствий их разрушения;

«В» – (относящуюся ко 2 классу безопасности) арматура, разрушение которой приводит к неустранимой штатными запорными органами утечке теплоносителя, обеспечивающего охлаждение активной зоны реактора, и (или) требует введения в действие систем безопасности;

«С» – (относящуюся к 3 классу безопасности) арматура:

- не вошедшая в группу А и В, разрушение которой приводит к утечке теплоносителя, обеспечивающего охлаждение активной зоны реактора;

- разрушение которой приводит к выходу из строя одной из систем безопасности или одного из ее каналов.

К классу безопасности 4 относится арматура элементов нормальной эксплуатации АС, не влияющих на безопасност, и не вошедшая в классы безопасности 1,2,3.

4.2.4 В зависимости от расчетных давлений, назначения и условий эксплуатации, в соответствии с НП-068-05 установлена классификация арматуры (см. таблицу 1.)

Таблица 1. Классификация арматуры АС

Обозначение	Расчетное давление, МПа	Назначение и условия эксплуатации
IA	до 25	Арматура, относящаяся к группе А
2BIIa *2BIIв*	свыше 5 до 5	Арматура, относящаяся к группе В, работающая постоянно или периодически в контакте с теплоносителем активностью выше или равной $3{,}7 \cdot 10^5$ Бк/л, или работающая с теплоносителем активностью менее $3{,}7 \cdot 10^5$ Бк/л, но доступ к которой не разрешается при работе реактора
2BIIIa *2BIIIв* *2BIIIc*	свыше 5 свыше 1,7 до 5 до 1,7 и ниже атмосферного (под вакуумом)	Арматура, относящаяся к группе В, работающая в контакте с теплоносителем активности менее $3{,}7 \cdot 10^5$ Бк/л, и доступ к которой разрешается при работе реактора
3CIIIa *3CIIIб* *3CIIIc*	свыше 5 свыше 1,7 до 5 до 1,7 и ниже атмосферного (под вакуумом)	Арматура, относящаяся к группе С

4.2.5 Арматура систем (элементов), важных для безопасности, должна проектироваться в соответствии с принципами, нормами и правилами в области использования атомной энергии.

4.2.6 Арматура систем (элементов), важных для безопасности, должна быть способна выполнить свои функции в установленном проектом объеме с учетом воздействия природных явлений (землетрясений, ураганов, наводнений, возможных в районе площадки АС), и/или при возможных механических, тепловых, химических и прочих воздействиях проектных аварий.

4.2.7 При разработке арматуры систем безопасности (СБ) должны использоваться принципы безопасности, направленные на повышение надежности СБ, включая принципы безопасного отказа и резервирования.

4.2.8 СБ должны удовлетворять принципу единичного отказа.

4.2.9 При проектировании арматуры систем (элементов) АС должно отдаваться предпочтение арматуре, устройство которой основано на пассивном принципе действия и свойствах внутренней самозащищенности (саморегулирование, тепловая инерционность и другие естественные процессы).

4.2.10 Выбор для конкретного типа арматуры показателей надежности и назначенных показателей (срока службы, ресурса) производится разработчиком проекта АС, и они указываются в техническом задании (ТЗ) на разработку арматуры, с учетом специфики места установки арматуры в системе, параметров эксплуатации, регламента работы, последствий отказов арматуры и других факторов.

4.2.11 Разработчик арматуры обеспечивает соответствие конструкции арматуры требованиям ТЗ и указывает номенклатуру и количественные значения показателей в руководстве по эксплуатации и технических условиях (ТУ) на арматуру.

4.2.12 Арматура АС, кроме неразборных конструкций обратных затворов, относится к классу ремонтируемых, восстанавливаемых изделий с нормируемой надежностью и для нее или отдельных ее деталей, узлов, комплектующих элементов должны быть установлены следующие показатели:

а) по долговечности:

- назначенный срок службы (год);

- назначенный ресурс (цикл, ч);

б) по безотказности:

- вероятность безотказной работы (ВБР) не менее... при наработке...;

- наработка на отказ не менее... (циклов, ч);

в) комплексный показатель надежности для арматуры, периодически или постоянно работающей в режиме ожидания:

- коэффициент готовности (и /или) коэффициент оперативной готовности) не менее...

По требованию Заказчика могут дополнительно устанавливаться значения назначенного срока службы и ресурса до какого-либо конкретного регламентного действия (технического обслуживания, капитального ремонта и др.).

Для неразборных обратных затворов и арматуры первого контура АС, не подлежащей восстановлению, должны устанавливаться соответствующие классу невосстанавливаемой арматуры показатели по ГОСТ 27.003 и ГОСТ 26291.

4.2.13 В назначенный ресурс должно входить только фактически отработанное время без учета времени хранения, времени консервации и времени простоя установки в отключенном состоянии без давления и наличия рабочей среды в арматуре.

4.2.14 Количественные значения показателей безотказности должны быть не менее установленным в НП-068-05, с учетом специфики места установки арматуры в системе, параметров эксплуатации, регламента работы и других факторов. Количественные значения показателей безотказности не указанные в НП-068-05 устанавливаются по согласованию с эксплуатирующей организацией.

4.2.15 Назначенный срок службы (ресурс) арматуры должен соответствовать назначенному сроку эксплуатации блока АС и должен быть не менее 40 лет.

В ТУ и в паспорте на арматуру должен быть приведен перечень быстроизнашиваемых деталей, узлов и комплектующих элементов. В ТУ на ремонт (или в руководстве по эксплуатации) должны быть указаны способы восстановительного ремонта либо приведены условия замены (по наработке или по критериям предельных состояний) быстроизнашиваемых деталей, узлов и комплектующих элементов.

5 Рекомендации по расчету и оценке надежности

5.1 Расчет надежности, в соответствии с ГОСТ 27.301, включает:

- идентификацию объекта, подлежащего расчету;
- определение целей и задач расчета, номенклатуры и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности;
- выбор метода(ов) расчета, адекватного(ых) особенностям объекта, целям расчета, наличию необходимой информации об объекте и исходных данных для расчета;
- составление расчетных моделей для каждого показателя надежности;
- получение и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности объекта и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми;
- оформление, представление и защиту результатов расчета.

5.2 Расчет надежности арматуры на этапе проектирования производится методами, приведенными в настоящем стандарте, с использованием данных эксплуатационной статистики трубопроводной промышленной арматуры «Банка данных ЦКБА по качеству, надежности и безопасности трубопроводной промышленной арматуры» (далее - «Банка данных ЦКБА»), приведенных в приложении А.

5.3 Полученные расчетные значения показателей надежности и назначенных показателей должны удовлетворять требованиям технического задания на проектирование арматуры и являться исходными данными для соответствующей организации производства или ремонта, с целью обеспечения установленных значений показателей.

5.4 В случае, когда расчетные значения оказываются ниже требуемых в техническом задании на проектирование, должны быть приняты меры по изменению конструкции, подбору материалов, резервированию элементов арматуры и/или другие меры, которые должны обеспечить требуемую надежность.

5.5 Принимаемые меры по обеспечению требуемой надежности арматуры должны быть согласованы с заказчиком (Разработчиком проекта системы), так как они могут оказаться для него неприемлемыми по экономическим соображениям, габаритам, весу или другим характеристикам проектируемой арматуры.

5.6 При невозможности или нецелесообразности обеспечения требуемой надежности арматуры на этапах проектирования и изготовления, должна быть дана соответствующая информация в эксплуатационной документации, с тем, чтобы разработчиком проекта системы, куда входит арматура, могли быть разработаны дополнительные меры по обеспечению требуемой надежности системы, с учетом недостаточной надежности проектируемой арматуры.

5.7 При составлении расчета должны быть оговорены все принимаемые допущения.

5.8 Метод расчета, из указанных в разделе 6, выбирается исполнителем исходя из требований технического задания на проектирование:

- если арматура состоит из узлов и деталей, информация о надежности которых имеется, то расчет безотказности арматуры рекомендуется производить методом, указанным в п.п. 6.1 или п.п.6.2;
- если информация о надежности узлов или деталей новой арматуры отсутствует, или требования к вероятности безотказной работы арматуры выше величины 0,997, то расчет безотказности арматуры рекомендуется производить методом, указанным в пп. 6.3 или, по согласованию с заказчиком, методом, указанным в пп. 6.2;
- если задана требуемая ВБР арматуры и нужно определить необходимую ВБР элементов (узлов), то расчет рекомендуется производить методом, указанным в пп. 6.4.

Примечание. В настоящем стандарте:

- определение ВБР арматуры, исходя из данных о ВБР (интенсивностях отказов) ее элементов считается «прямой» задачей.
- определение необходимых значений ВБР (интенсивностей отказов) отдельных элементов, исходя из заданной требуемой ВБР арматуры – «обратной» задачей.

5.9 Количественные значения вероятности безотказной работы или интенсивности отказов основных элементов (узлов), комплектующих арматуру, принимаются, как правило, по данным предприятия-изготовителя комплектующих или по приложению А.

5.10 При отсутствии информации от предприятия-изготовителя комплектующих о вероятности безотказной работы или интенсивности отказов основных элементов (узлов), их количественные значения принимаются по приложению А.

5.11 При отсутствии в приложении А данных о вероятности безотказной работы (интенсивности отказов) узлов и деталей необходимо пользоваться достоверными статистическими данными официальных источников информации по эксплуатации аналогичных узлов и деталей.

5.12 При решении обратной задачи все искомые элементы (узлы), участвующие в расчете, принимаются равнонадежными. Полученная расчетная (необходимая) вероятность безотказной работы (интенсивность отказов) элемента (узла) сравнивается с имеющимися данными из приложения А о вероятности безотказной работы (интенсивности отказов) аналогичного элемента (узла).

5.13 Если расчетная (необходимая) ВБР не выше (интенсивность отказов не ниже) ВБР (интенсивности отказов) из приложения А, то аналогичный элемент (узел) может рассматриваться в качестве элемента (узла) проектируемой арматуры.

Если расчетная (необходимая) ВБР выше (интенсивность отказов ниже) ВБР (интенсивности отказов) из приложения А, то должны быть приняты меры по изменению конструкции, подбору материалов, резервированию элемента (узла) арматуры и/или другие меры, которые должны обеспечить его требуемую надежность, или приняты меры на предприятии-изготовителе по соответствующей организации производства и контроля технологического процесса, с целью ее обеспечения.

5.14 Полученные расчетные данные должны быть в дальнейшем уточнены и дополнены результатами испытаний на надежность. Окончательный вывод о надежности спроектированного арматуры составляется путем сбора и анализа статистических данных о работе арматуры в условиях эксплуатации.

5.15 Анализ надежности при проектировании арматуры АС должен проводиться с учетом отказов по общей причине.

5.16 ВБР, задаваемая для арматуры в конструкторской документации (КД), должна исчисляться по совокупности критических и некритических отказов. По требованию заказчика арматуры в КД может быть указана ВБР, исчисленная только по критическим отказам.

5.17 Расчет показателей надежности для арматуры систем безопасности, по требованию заказчика, дополнительно должен подтверждаться результатами испытаний, установленных нормативной документацией для арматуры АС, или эксплуатации.

5.18 Для арматуры систем безопасности доверительная вероятность для расчета нижней доверительной границы вероятности безотказной работы должна быть 0,95.

Для арматуры систем нормальной эксплуатации, доверительная вероятность для расчета нижней доверительной границы вероятности безотказной работы должна быть 0,9.

5.19 По согласованию между разработчиком проекта систем и разработчиком арматуры допускается изменение установленных в конструкторской документации показателей надежности и назначенных показателей как по их номенклатуре, так и по количественным значениям.

6 Методы расчета показателей безотказности

6.1 Первый метод расчета ВБР арматуры (структурный метод с составлением структурной блок-схемы надёжности соединения элементов)

6.1.1 Основные допущения, принимаемые при расчете:

а) отказы элементов являются событиями случайными и независимыми;

б) показатели безотказности элементов арматуры в течение принятых для них показателей долговечности (средний срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.) и/или назначенных показателей (назначенный срок службы (ресурс)) определяются экспоненциальным законом, если нет достаточного числа опытных данных, свидетельствующих о другом законе распределения;

в) идентичные элементы имеют равную интенсивность отказов;

г) интенсивность отказов принимается постоянной, то есть из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа.

При составлении расчета должны быть оговорены и все другие принимаемые допущения, возникшие в связи со спецификой арматуры, условий эксплуатации.

6.1.2 Исходными данными для расчета являются:

а) техническое задание;

б) сборочный чертеж арматуры и спецификация;

в) заданный период, для которого необходимо определить показатели безотказности (период непрерывной работы, средний и/или назначенный срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.);

г) время совершения одного цикла;

д) режим работы арматуры;

е) интенсивности отказов или ВБР узлов и деталей арматуры.

Время совершения одного цикла и режим работы арматуры необходимы для расчета времени работы (нахождения под нагрузкой) отдельных узлов и элементов арматуры.

Необходимо установить, является ли арматура нормально открытой или нормально закрытой и относительную величину ее пребывания в открытом (или закрытом) положении (в процентах) от заданного периода.

6.1.3 Методика расчета

6.1.3.1 Расчет вероятности безотказной работы арматуры производится, исходя из основной количественной характеристики безотказности – интенсивности отказов (λ), данные о которой для различных элементов и узлов приведены в приложении А.

6.1.3.2 Расчет ВБР включает:

- представление арматуры в виде структурной блок-схемы, описывающей взаимодействие элементов с учетом структурно-функциональных связей;
- описание построенной структурной блок-схемы надёжности (ССН) арматуры адекватной математической моделью;
- определение интенсивностей отказов (ВБР) для элементов, входящих в ССН;
- определение ВБР арматуры.

Структурная схема надежности должна отражать связи элементов в конструкции арматуры. Структурная схема надежности арматуры может представлять собой последовательное, параллельное или всевозможные сочетания последовательного и параллельного соединений систем и элементов. Элементы могут быть однотипными и разнотипными.

Структурная схема надежности может быть составлена для каждого функционального назначения. В этом случае по вероятностям выполнения отдельных функций можно определять вероятность безотказного функционирования арматуры в целом, при этом структурная схема надежности будет иметь вид последовательного соединения элементов-функций.

Разработка ССН арматуры производится с соблюдением следующих принципов:

1) Арматура разделяется на элементы (системы), выполняющие определенные функции;

2) Все элементы в ССН должны быть взаимосвязаны;

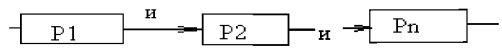
3) Любой возможный вид отказа элемента (функции) приводит к отказу арматуры;

4) Любой возможный вид отказа элемента является независимым событием;

5) В схеме не должно быть элементов, возможный отказ которых отрицает возможный отказ других элементов.

Расчет вероятности безотказной работы арматуры (P_c) по данным вероятности безотказной работы элементов (узлов) (P_j) для различных ССН производится по следующим формулам:

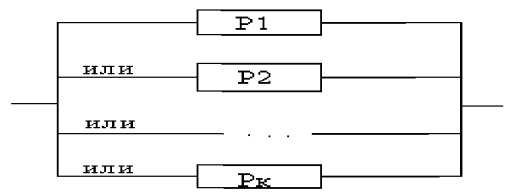
а) последовательная схема (резервирование отсутствует; отказ арматуры наступает в результате отказа хотя бы одного элемента):



$$P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot \ldots \cdot P_n = \prod_{j=1}^{n} P_j \ ; \qquad (1)$$

где: j (от 1 до n) – номер элемента (узла) в схеме;
n – количество последовательных элементов в схеме;

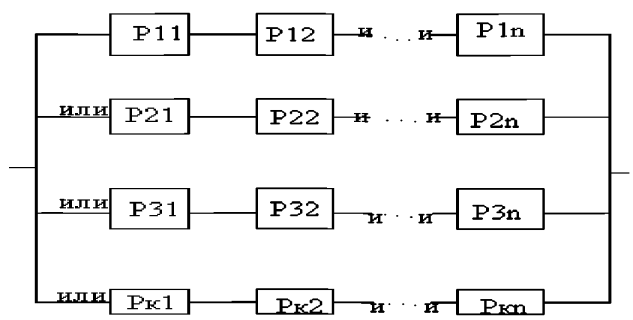
б) параллельная схема, состоящая из k однотипных элементов, включая (k -1) резервный элемент (отказ арматуры наступает в результате отказа всех элементов):



$$P_c = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \ldots \cdot (1 - P_к) = 1 - \prod_{i=1}^{к} (1 - Pi) \ , \qquad (2)$$

где: i (от 1 до k) - номер элемента (узла) в схеме;
k - количество параллельно соединенных элементов в схеме;

в) параллельно-последовательная схема, состоящая из k параллельно соединенных однотипных подсистем, состоящих из n последовательно соединенных разнотипных элементов (отказ арматуры наступает в результате отказа всех подсистем):



$$P_c = 1 - (1 - P_{11} \cdot P_{12} \cdot \ldots \cdot P_{1n}) \cdot (1 - P_{21} \cdot P_{22} \cdot \ldots \cdot P_{2n}) \times$$

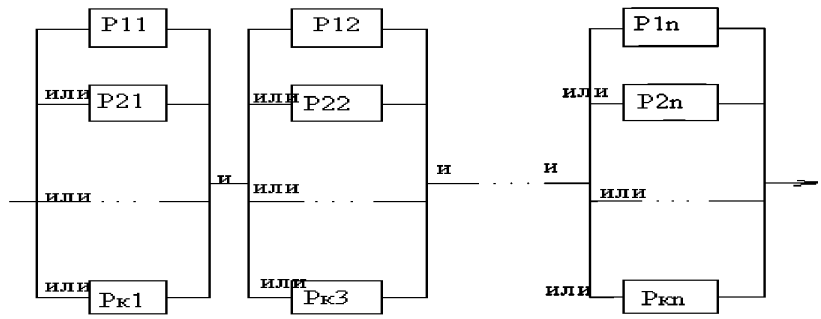
$$\times (1 - P_{к1} \cdot P_{к2} \cdot \ldots \cdot P_{кn}) = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - \prod_{j=1}^{n} P_{ij}) \qquad (3)$$

где: j (от1 до n) - номер элемента (узла) в i-й подсистеме;
n – количество элементов в i-й подсистеме;
i (от 1 до k) - номер подсистемы в схеме;
k - количество параллельных подсистем в схеме.

При резервировании однотипными подсистемами формула (3) будет иметь вид

$$P_c = 1 - (1 - \prod_{j=1}^{n} P_j)^k \qquad (3а)$$

г) последовательно-параллельная схема, состоящая из n последовательно соединенных подсистем, состоящих из k параллельно соединенных однотипных или разнотипных элементов (отказ арматуры наступает в результате отказа любой подсистемы):



$$P_c = \left[1-\left(1-P_{11}\right)\cdot\left(1-P_{21}\right)\cdot\ldots\cdot\left(1-P_{к1}\right)\right]\cdot\left[1-\left(1-P_{12}\right)\cdot\left(1-P_{22}\right)\cdot\ldots\cdot\left(1-P_{к2}\right)\right]\times$$

$$\text{x}\left[1-\left(1-P_{1n}\right)\cdot\left(1-P_{2n}\right)\cdot\ldots\cdot\left(1-P_{кn}\right)\right] = \prod_{j=1}^{n}\left[1-\prod_{i=1}^{к}\left(1-P_{ij}\right)\right] \qquad (4)$$

где: j (от 1 до n) - номер подсистемы;
n - количество подсистем в арматуре;
i (от 1 до k) номер элемента (узла) в j-й подсистеме;
k - количество параллельно соединенных элементов в подсистеме

При резервировании однотипными элементами формула (4) будет иметь вид

$$P_c = \prod_{j=1}^{n} [1 - (1 - P_j)^k] \qquad (4а)$$

6.1.3.3 Для каждого элемента необходимо определить:
а) время t', в течение которого элемент находится под нагрузкой;
б) время t", в течение которого элемент находится в ненагруженном состоянии.
Причем, период непрерывной работы (заданный период)

$$t = t' + t''. \qquad (5)$$

6.1.3.4 Интенсивность отказов каждого i-го элемента λ'_i, находящегося под нагрузкой, определяется по формуле:

$$\lambda'_i = \beta_1 \cdot \lambda_{0i} \ , \qquad (6)$$

где: λ_{0i}- интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой, в соответствии с приложением А;

β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов (выбирается по данным приложения Б).

6.1.3.5 Интенсивность отказов i-го элемента λ''_i, не находящегося под нагрузкой, определяется по формуле:

$$\lambda_i'' = \beta_{2.} \cdot \lambda_i' = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot \lambda_{0i} \ , \qquad (7)$$

где: β_2 - поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента (для электрических элементов он выбирается по данным приложения В, для остальных - он принимается равным $1x\ 10^{-3}$).

6.1.3.6 Вероятность безотказной работы одного элемента рассчитывается по формуле (8) или (9) и (10):

а) при размерности λ_{0i} в единицах 1/ч

$$P_i(t) = e^{-\left(\lambda_i' \cdot t_i' + \lambda_i'' \cdot t_i''\right)} \ ; \qquad (8)$$

б) при размерности λ_{0i} в единицах 1/цикл

$$P_i(t) = e^{-\lambda_{0i} \cdot T_i} \ , \qquad (9)$$

где: T_i – наработка арматуры в заданный период в циклах;

в) если известна вероятность безотказной работы i–го элемента (P(t*)) за фиксированный срок или наработку (t*), то

$$P_i(t) = e^{\frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)} \ . \qquad (10)$$

6.1.3.7 Если разнотипные элементы в арматуре или *i*-ой группе элементов соединены последовательно и элементы одного типа имеют одну продолжительность работы t_i или наработку в циклах T_i или ВБР за время t* , то расчет ВБР этой группы элементов (арматуры) проводят в зависимости от вида исходной информации, соответственно по формулам:

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{m} k_i \left(\lambda_i' \cdot t_i' + \lambda_i'' \cdot t_i''\right)} \ ; \qquad (11)$$

или

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{m} k_i \lambda_{0i} T_i} \ ; \qquad (12)$$

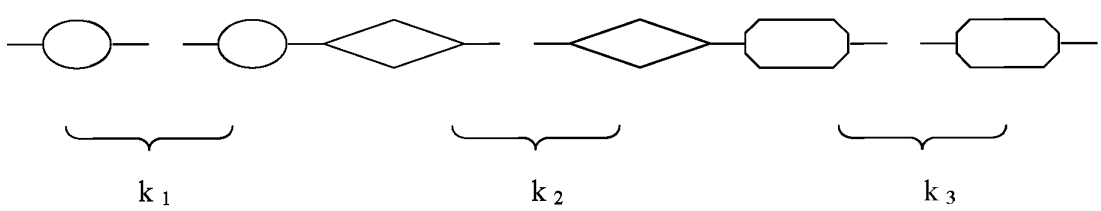
или

$$P_j(t) = e^{\sum_{i=1}^{m} k_i \frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)} \ , \qquad (13)$$

где: k_j - число элементов *i*-го типа в группе элементов или в арматуре, $i = 1 \div m$.

m - число типов элементов в группе или арматуре.

Графическое изображение ССН с последовательным соединением разнотипных элементов имеет вид:



6.1.3.8 Вероятность безотказной работы арматуры в целом P_c определяется по формулам (1), (2), (3), (4) в зависимости от схемы соединения элементов и (или) групп элементов в арматуре.

6.1.3.9 Для расчета вероятности безотказной работы отдельных элементов заполняется таблица Г.1 приложения Г.

6.1.3.10 Пример расчета показателей надежности данным методом приведен в приложении К.

6.2. Второй метод расчета ВБР арматуры (по критериям отказов)

6.2.1 Основные допущения, принимаемые при расчете:

а) отказы элементов являются событиями случайными и независимыми;

б) показатели безотказности элементов арматуры в течение принятых для них показателей долговечности и/или назначенных показателей (период непрерывной работы, средний и/или назначенный срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.) подчиняются экспоненциальному закону распределения, если нет достаточного числа опытных данных, свидетельствующих о другом законе распределения;

в) одинаковые элементы имеют одинаковую интенсивность отказов;

г) интенсивность отказов принимается постоянной, то есть из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа.

При составлении расчета должны быть оговорены и все другие принимаемые допущения, возникшие в связи со спецификой арматуры, условий эксплуатации.

6.2.2 Исходными данными для расчета являются:

а) техническое задание;

б) сборочный чертеж арматуры и спецификация;

в) критерии отказов и предельных состояний арматуры;

г) заданный период, для которого необходимо определить показатели безотказности (период непрерывной работы, средний и/или назначенный срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.);

д) интенсивности отказов узлов и деталей арматуры.

6.2.3 Методика расчета

6.2.3.1 Для оценки вероятности безотказной работы арматуры следует построить схему отказов арматуры следующим образом:

1 уровень – состояние арматуры (работоспособное, неработоспособное) или событие (отказ (предельное состояние) или отсутствие отказа (предельного состояния));

2 уровень – события, состояния, функции, от которых зависит 1 уровень (критерии отказов и предельных состояний);

3 (и последующие) уровни – элементы арматуры или события, от которых зависит 2 (предыдущий) уровень.

При построении схемы отказов рекомендуется использовать следующие обозначения:



- состояние, событие, функция (нет исходной информации);



- элементы (детали, узлы) арматуры (есть исходная информация – интенсивность отказов);



- «и» (знак зависимости);



- «не» (знак зависимости);



- «или» (знак зависимости).

Пример построения схемы отказов приведен в Приложении К (схема К.2).

В соответствии с построенной схемой заполняется таблица Г.2 приложения Г.

6.2.3.2 Вероятность безотказной работы арматуры $P_{11}(t)$ в течение заданного периода t определяется по формуле:

$$P_{11}(t) = \prod_{j=1}^{k} P_{2j}(t), \qquad (14)$$

где: $P_{2j}(t)$ - ВБР арматуры по *j*-му критерию отказов на 2-ом уровне;

J =(от 1 до *k*) критерии отказов или предельных состояний;

k - количество критериев отказов (предельных состояний).

При расчете вероятностей $P_{2j}(t)$ учитываются только те узлы и детали арматуры, которые влияют на отказ по *j*-му критерию.

6.2.3.3 Если события или элементы арматуры *i*+1 уровня связаны знаком «и», то вероятность безотказной работы *i*-го уровня по *j*-му критерию определяется по формуле:

$$P_{ij}(t) = \prod_{l=1}^{n} P_{i+1,l}(t), \qquad (15)$$

где: $l = (1; n)$ – события или элементы (*i*+1) уровня, влияющие на наступление события *i*-го уровня по схеме.

Если события или элементы арматуры i+1 уровня связаны знаком «или», то вероятность безотказной работы i-го уровня по j-му критерию определяется по формуле:

$$P_{ij}(t) = 1 - \prod_{l=1}^{n} \left(1 - P_{i+1,l}(t)\right), \qquad (16)$$

Если часть событий или элементов связаны знаком «или», а другая часть – знаком «и», то вероятность безотказной работы *i*-го уровня определяется с применением формул (15), (16) и группировки событий или элементов по связям в схеме соединения.

6.2.3.4 Вероятность безотказной работы в течение заданного периода t определяется для каждого события, состояния, обозначенного на схеме прямоугольником.

Расчет производится от нижнего уровня к верхнему уровню.

Вероятность безотказной работы элемента P_{ij} в течение заданного периода t нужно определять, исходя из данных, указанных в приложениях А, Б, и В по формулам (8) - (10) или, соответственно, по формулам (11) – (13).

6.2.3.5 Классификатор отказов и предельных состояний арматуры приведен в приложении Е.

6.2.3.6 Пример расчета по данному методу приведен в приложении К.

6.3 Третий метод расчета ВБР арматуры (по прочности, нагрузке и параметрам)

6.3.1 Основные допущения, применяемые при расчете:

а) отказы изделий являются случайными и независимыми событиями;

б) распределение значений параметров работоспособности изделий и механических свойств конструкционных материалов подчиняются нормальному закону распределения отказов.

6.3.2 Исходными данными для расчета являются:

а) техническая документация на арматуру;

б) критерии отказов и предельных состояний;

в) предельные значения параметров функционирования, соответствующие критериям отказа и предельных состояний;

г) силовой и прочностной расчет арматуры;

д) справочные данные о коэффициентах вариации соответствующих свойств конструкционных материалов.

6.3.3 Методика расчета

6.3.3.1 Вероятность безотказной работы арматуры в течение периода t определяется по формуле:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) , \qquad (17)$$

где: $P_1(t)$ – вероятность неразрушения наиболее слабого узла детали арматуры в течение периода t;

$P_2(t)$ – вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые границы в течение заданного периода t.

6.3.3.2 Расчет вероятности $P_1(t)$.

Вероятность $P_1(t)$ может быть определена двумя способами:

а) $$P_1(t) = \prod_{i=1}^{n} P_{1i}(t), \qquad (18)$$

где: $P_{1i}(t)$ – вероятность неразрушения i–го элемента или узла арматуры в течение периода t;

б) $$P_1(t) = \min P_{1i}(t), \qquad (19)$$

т.е. $P_1(t)$ определяется вероятностью неразрушения наиболее слабого узла или детали арматуры в течение времени t. Наиболее слабый элемент определяется по арматуре-прототипу или по прочностному расчету (имеющий наименьший запас прочности по критерию прочности или по критерию текучести), с учетом динамики и величины нагрузок, возникающих на элементах рассматриваемой конструкции или прототипа.

Величина $P_{1i}(t)$ определяется по формуле:

$$P_{1i} = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{\kappa^2_{ri} \cdot \varphi_i^2 + \kappa^2_{si}}} \right), \qquad (20)$$

где: $F(\ldots)$ – функция нормального распределения, определяемая по приложению И, параметр функционирования в таблицах приложения И обозначен знаком «х»;

φ_i – коэффициент запаса прочности, определяемый по формуле:

$$\varphi_i = \frac{M_{ri}}{M_{si}}, \qquad (21)$$

где: M_{ri} и M_{si} – ожидаемые средние значения показателей прочности R и нагрузки S;

κ_{ri}, κ_{si} – коэффициенты вариации M_{ri} и M_{si} соответственно.

Для расчета величин P_{1i} заполняется таблица Д.1 приложения Д.

6.3.3.3 Графы 1 – 4 заполняются по результатам прочностного расчета узлов и деталей арматуры.

В графе 5 определяется коэффициент запаса прочности $\varphi_i = \frac{M_{ri}}{M_{si}}$.

В графу 6 вносятся значения коэффициента прочности, определяемого по таблице приложения Е, исходя из материала детали.

В графу 7 вносят значения коэффициента вариации нагрузки $к_{si}$, определяемого по приложению Ж. Если нет данных о его величине, то значение $к_{si}$ выбираются из интервала [0,2 – 0,3].

В графе 8 определяют значения $P_{1i}(t)$. Значения функции нормального распределения Ф(х) определяют по таблице приложения З в зависимости от «х».

6.3.3.4 Расчет вероятности $P_2(t)$.

Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые границы в течение периода t определяется по формулам:

а) $$P_2(t) = \prod_{j=1}^{n} P_{2j}(t), \qquad (22)$$

где: $P_{2j}(t)$ – вероятность невыхода значений j–го параметра функционирования за допустимые пределы в течение периода t;

i (от 1 до n) – параметры функционирования.

б) $$P_2(t) = \min P_{2j}(t), \qquad (23)$$

т.е. P_2 (t) равна наименьшему значению из $P_{2j}(t)$ — вероятностей невыхода за допустимые пределы по всем n параметрам функционирования.

Величина $P_{2j}(t)$ определяется следующим образом:

- если параметр функционирования ограничен сверху

$$P_{2j}(t) = F\left(-\frac{1}{k_{yi}} + \frac{y_в}{k_{yi} \cdot y_i}\right), \qquad (24)$$

- если параметр функционирования ограничен снизу

$$P_{2j}(t) = F\left(-\frac{y_н}{k_{yj} \cdot y_{yj}} + \frac{1}{k_{yj}}\right) - 1, \qquad (25)$$

- если параметр функционирования имеет двухстороннее ограничение

$$P_2(t) = F\left(\frac{y_в - y_j}{k_{yi} \cdot y_j}\right) - F\left(\frac{y_н - y_j}{k_{yj} \cdot y_j}\right), \qquad (26)$$

где: $F(\ldots)$ – функция нормального распределения, определяемая по приложению И, параметр функционирования в таблицах приложения И обозначен знаком «х»;

$y_в$, $y_н$ – соответственно верхняя и нижняя допустимые границы значений параметра, заданных в ТЗ;

y_i – ожидаемое среднее значение параметра, определяется по результатам технических расчетов или задается;

$к_{yi}$ – коэффициент вариации параметра работоспособности, определяемый по приложению Ж.

Для расчета значений $P_{2j}(t)$ заполняется таблица Д.2 приложения Д.

В графу 1 вносят параметры функционирования арматуры.

В графу 2 – ожидаемые средние значения параметра y_j,.

В графу 3 вносят величину, ограничивающую значения параметра функционирования, которая принимается по нормативным документам или задается заказчиком в техническом задании.

В графу 4 вносят значения коэффициента вариации параметра функционирования $к_{yj}$, которые определяются по таблице приложения Ж.

В графе 5 определяют значения аргумента u_j функции нормального распределения $\Phi(u_j)$.

В графе 6 определяют значения вероятности P_{2j} по формулам (24) - (26). Значения функции $\Phi(u_j)$ определяют по приложению З в зависимости от u_j.

Примечание: При испытаниях опытных образцов или макетов величину y_j следует контролировать и в случае отклонения от принятой в расчете, расчет откорректировать.

6.3.3.5 Пример расчета показателей надежности данным методом приведен в приложении К.

6.4 Расчет ВБР (интенсивности отказов) элемента (узла) арматуры с составлением структурной блок-схемы надёжности соединения элементов (узлов) при заданной ВБР арматуры (решение обратной задачи)

Расчет необходим при новом проектировании или модернизации арматуры, в случае включения в ее конструкцию нового узла (элемента), для которого отсутствует информация о его надежности, но имеются данные о надежности остальных элементов (узлов) и известна требуемая ВБР (интенсивность отказов) арматуры в целом. В этом случае определяется требуемая ВБР (интенсивность отказов) искомого элемента (узла).

6.4.1 Основные допущения, принимаемые при расчете:

а) отказы элементов являются событиями случайными и независимыми;

б) показатели безотказности элементов арматуры в течение принятых для них показателей долговечности и/или назначенных показателей (период непрерывной работы, средний и/или назначенный срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.) определяются экспоненциальным законом, если нет достаточного числа опытных данных, свидетельствующих о другом законе распределения;

в) все элементы одного и того же типа имеют одинаковую интенсивность отказов;

г) интенсивность отказов принимается постоянной, то есть из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа.

При составлении расчета должны быть оговорены и все другие принимаемые допущения, возникшие в связи со спецификой арматуры, условий эксплуатации.

6.4.2 Исходными данными для расчета являются:

а) техническое задание;

б) сборочный чертеж арматуры и спецификация;

в) заданный период, для которого необходимо определить показатели безотказности (период непрерывной работы, средний и/или назначенный срок службы (ресурс), гарантийная наработка, гарантийный срок службы и т.д.);

г) время совершения одного цикла;

д) режим работы арматуры;

е) интенсивности отказов или ВБР узлов и деталей (элементов) арматуры, кроме интенсивности отказов или ВБР одного (искомого) элемента;

ж) ВБР арматуры.

Время совершения одного цикла и режим работы арматуры необходимы для расчета времени работы отдельных узлов и элементов арматуры.

Необходимо установить, является ли арматура нормально открытой или нормально закрытой и какова продолжительность ее пребывания в открытом (или закрытом) положении в процентах от заданного периода.

6.4.3 Методика расчета

6.4.3.1 Расчет вероятности безотказной работы элемента арматуры производится, исходя из вероятности безотказной работы арматуры и интенсивности отказов (λ_{oi},) различных элементов и узлов, данные о которых приведены в приложении А.

6.4.3.2 При расчете арматура условно разбивается на элементы (узлы) и составляется соответствующая ССН (см. раздел 6.1). Расчет производится аналогично приведенному в пп. 6.4.3.3 – 6.4.3.12, в зависимости от составленной ССН арматуры.

6.4.3.3 При простой последовательной схеме (резервирование отсутствует), с введением искомого элемента с вероятностью безотказной работы Ри, вероятность безотказной работы арматуры

$$Pc = P_1 \cdot P_2 \cdot \ldots \cdot P_и \cdot P_n = P_и \cdot \prod_{i=1}^{n-1} Pi \ ; \qquad (27)$$

где: *i* (от 1 до *n*) – номер элемента (узла) в схеме, (n – 1) + и = n.

Откуда,

$$P_и = P_c / \prod_{i=1}^{n-1} Pi \qquad (28)$$

Для решения задачи необходимо определить вероятность безотказной работы арматуры, без учета ВБР искомого элемента

$$P_{c-1} = \prod_{i=1}^{n-1} Pi \qquad (29)$$

6.4.3.3 Для каждого элемента необходимо задать:

а) время t' , в течение которого элемент находится под нагрузкой;

б) время t", в течение которого элемент находится в ненагруженном состоянии.

Причем, период непрерывной работы (заданный период)

$$t = t'+t". \qquad (30)$$

6.4.3.4 Интенсивность отказов каждого i-го элемента λ^i_i, находящегося под нагрузкой, определяется по формуле:

$$\lambda_i^{'} = \beta_1 \cdot \lambda_{0i} \ , \qquad (31)$$

где: λ_{0i}- интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой, в соответствии с приложением А;

β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженного элемента, в соответствии с приложением Б;

6.4.3.5 Интенсивность отказов каждого *i*-го элемента $\lambda_i^{''}$, не находящегося под нагрузкой, определяется по формуле:

$$\lambda_i^{''} = \beta_2 \cdot \lambda_i^{'} = \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot \lambda_{0i} \ , \qquad (32)$$

где β_2- поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов ненагруженного элемента (для электрических элементов он выбирается по данным приложения В; для остальных - он равен $1x\ 10^{-3}$).

6.4.3.6 Вероятность безотказной работы одного элемента, интенсивность отказов которого известна, рассчитывается по формуле (8) или (9) и (10):

а) при размерности λ_{0i} в единицах 1/ч

$$P_i(t) = e^{-\left(\lambda_i^{'} \cdot t_i^{'} + \lambda_i^{''} \cdot t_i^{''}\right)} \ ; \qquad (33)$$

б) при размерности λ_{0i} в единицах 1/цикл

$$P_i(t) = e^{-\lambda_{0i} T_i} \ , \qquad (34)$$

где: Ti – наработка арматуры в заданный период в циклах;

в) если известна вероятность безотказной работы *i*–го элемента за фиксированный срок или наработку t*, то

$$P_i(t) = e^{\frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)} \ . \qquad (35)$$

6.4.3.7 Для расчета вероятности безотказной работы отдельных элементов необходимо заполнить таблицу Г.1 приложения Г.

6.4.3.8 После расчета каждого P_i, по формуле (29) определяется $P_{c\text{-}1}$ и по формуле (28) определяется вероятность безотказной работы искомого элемента $P_и$.

6.4.3.9 Для определения (при необходимости) интенсивности отказов искомого элемента $\lambda_{0и}$ используются формулы (8) или (9), где i = и:

а) для размерности $\lambda_{0и}$ в единицах 1/ ч

$$P_u(t) = e^{-\left(\lambda_u^{'} \cdot t_u^{'} + \lambda_u^{''} \cdot t_u^{''}\right)} \ ; \qquad (36)$$

б) для размерности $\lambda_{0и}$ в единицах - 1/цикл

$$P_u(t) = e^{-\lambda_{0u} \cdot T_u} \ , \qquad (37)$$

где: T_u – наработка арматуры в заданный период в циклах.

6.4.3.10 Преобразуя формулу (36), получим:

$$\ln P_{и}(t) = -(\lambda'_{и} \cdot t'_{и} + \lambda''_{и} \cdot t''_{и}) = -\lambda_{0и}(\beta_1 \cdot t'_{и} + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot t''_{и}). \qquad (38)$$

Откуда,

$$\lambda_{0и} = -\ln P_{и}(t) / (\beta_1 \cdot t'_{и} + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot t''_{и}) \qquad (39)$$

6.4.3.11 Преобразуя формулу (37), получим:

$$\ln P_{и}(t) = -\lambda_{0и} \cdot T_{и}. \qquad (40)$$

Откуда,

$$\lambda_{0и} = -\ln P_{и}(t) / T_{и}. \qquad (41)$$

6.4.3.12 В случае расчета, когда ВБР (интенсивности отказов) всех искомых элементов (узлов) арматуры не известны, элементы (узлы) принимаются равнонадежными, т.е. Ри = Pi , и формула (1) примет вид:

$$P_{с} = P_{и}^{\,n}. \qquad (42)$$

Откуда, ВБР каждого искомого элемента (узла)

$$P_{и} = \sqrt[n]{P_{с}}. \qquad (43)$$

Интенсивность отказов каждого искомого элемента (узла), при необходимости, определяется по формулам (39) или (41).

6.5 Расчет наработки на отказ

6.5.1 Наработка на отказ арматуры $T^{o}_{изд}$ определяется из формулы:

$$\frac{1}{T^{0}_{изд}} = \sum_{i=1}^{r} \frac{1}{T_i} \qquad (44)$$

где: *i* (от 1 до *r*) – число узлов и деталей арматуры, лимитирующих наработку на отказ;

T_i – наработка на отказ или ресурс i-го узла (детали).

6.5.2 Значения T_i определяются по формуле:

$$T_i = \frac{1}{\lambda_i}, \qquad (45)$$

где: λ_i – интенсивность отказов i-го узла или детали, определяется по приложению А.

При определении наработки на отказ в циклах при расчете принимать λ_i в единицах 1/цикл, при определении наработки на отказ в часах – в единицах 1/ч.

6.5.3 Допускается определение T_i по другим формулам, если они приведены в нормативной документации на узлы и детали.

6.5.4 Величина $T^{0}_{изд}$ для регулирующей арматуры должна измеряться в часах, для остальной арматуры – в часах и циклах.

(Примечание. **Наработка до отказа**

Наработка до отказа арматуры (системы) при последовательном соединении элементов (узлов) равна наработке до отказа того элемента, у которого эта наработка минимальна.

Наработка до отказа арматуры (системы) при параллельном соединении элементов (узлов) равна наработке до отказа того элемента, у которого эта наработка максимальна.)

7 Методы расчета показателей долговечности

7.1 Расчет срока службы

7.1.1 Средний полный срок службы арматуры $C_п$ определяется по формуле:

$$C_п = \min_j C_j, \qquad (46)$$

где: C_j - срок службы корпусных деталей и узлов, не подлежащих замене и ремонту, определяющих долговечность арматуры (в годах).

7.1.2 Величина C_j . определяется по формуле:

$$C_j = \frac{1}{\lambda_j}, \qquad (47)$$

где λ_j – интенсивность отказов j-го узла или детали, лимитирующих долговечность арматуры (определяется по приложению А в единицах измерения - 1/ч).

Примечание – допускается определение C_j по формулам нормативной документации на узлы и детали, лимитирующие долговечность арматуры, исходя из максимально допустимого износа арматуры, скорости коррозии и/или изнашивания применяемых материалов.

7.2 Расчет ресурса

7.2.1 Средний полный ресурс арматуры $T_{р.ср}$ в часах определяется по формуле:

$$T_{р.ср} = 8000\, C_п, \qquad (48)$$

где: $C_п$ - средний полный срок службы арматуры (в годах);

8000 – коэффициент средней годовой нагрузки арматуры, принятый в арматуростроении (ч/год).

7.2.2 Средний полный ресурс арматуры $T_{р.ср}$ в циклах определяется по формуле:

$$T_{р.ср} = N\, C_п, \qquad (49)$$

где: $C_п$ - средний полный срок службы арматуры (в годах);

N – количество циклов, совершаемых арматурой в течение года (цикл/год).

Примечания

1 Ресурс арматуры должен соответствовать указанному заказчиком в ТЗ на проектирование.

2 Формулы (48) и (49) следует применять в случае отсутствия в ТЗ информации о соотношении среднего полного ресурса и среднего полного срока службы арматуры, с учетом фактического выполнения функций арматурой по назначению в течение заданного периода и параметров ее эксплуатации.

8 Расчет и оценка назначенных показателей

8.1 Расчет и оценка назначенного срока службы

8.1.1 Назначенный срок службы арматуры определяет ее срок службы, в течение которого критического отказа не произойдет с вероятностью близкой к единице.

8.1.2 Назначенный срок службы $C_н$ определяется по формуле:

$$C_н = \frac{C_п}{n}, \qquad (50)$$

где: n – коэффициент запаса по сроку службы;

$С_{п}$ – средний полный срок службы арматуры, определяемый по формуле (46).

Величина n выбирается в зависимости от требований к арматуре, имеющейся информации о критических отказах аналогичных изделий (по результатам эксплуатации или испытаний) и их последствиях, результатах проведения экспертизы промышленной безопасности аналогичных изделий и согласовывается при необходимости с заказчиком. По статистическим данным о надежности арматуры рекомендуемое значение n выбирается из ряда 1 – 4.

8.1.3 Оценка назначенного срока службы заключается в расчете соответствующей ему вероятности безотказной работы, исчисленной по критическим отказам, и сравнение ее значения с единицей.

8.1.4 Вероятность безотказной работы арматуры, исчисленная по критическим отказам за назначенный срок службы определяется по методике, указанной в п. 6.2 (второй метод расчета ВБР), с учетом того, что в расчет принимаются только элементы (узлы) арматуры, отказы которых являются критическими, и заданным периодом является назначенный срок службы.

8.1.5 Необходимая близость вероятности к единице определяется категорией опасности объекта, на котором предполагается эксплуатировать арматуру, степенью допустимости критического отказа и должна быть согласована с заказчиком арматуры.

Пример – Вероятность безотказной работы, исчисленная по критическим отказам за назначенный срок службы 4 года равная 0,99998, означает, что на 100000 изделий при эксплуатации каждого в течение 4 лет может произойти не более 2-х критических отказов.

8.1.6 Если близость вероятности к единице не удовлетворяет предъявляемым требованиям, величина назначенного срока службы должна быть уменьшена, с проведением расчета вероятности безотказной работы или повышена надежность арматуры, что должно быть также подтверждено расчетами.

8.2 Расчет и оценка назначенного ресурса

8.2.1 Назначенный ресурс арматуры определяет ее ресурс, в течение которого критического отказа не произойдет с вероятностью близкой к единице.

8.2.2 Назначенный ресурс $Т_{рн}$ определяется по формуле:

$$Т_{рн} = \frac{Т_{р.ср}}{m}, \qquad (51)$$

где:

m – коэффициент запаса по ресурсу.

$Т_{р.ср}$ - средний полный ресурс арматуры, определяемый по формулам (48) и (49).

Величина m выбирается аналогично n в пп. 8.1.

8.2.3 Оценка назначенного ресурса производится аналогично оценке назначенного срока службы.

9 Требования к оформлению расчета

9.1 Расчет надежности на этапе проектирования следует оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105.

9.2 Расчет должен содержать следующие разделы:

- задача расчета;
- основные допущения, применяемые при расчете;
- исходные данные;

- источники справочной информации и статистических данных;
- расчет количественных значений показателей надежности и назначенных показателей;
- результаты расчета (заключение).

9.3 Раздел «Результаты расчета» должен содержать:

- расчетные значения всех показателей и заключения об их соответствии установленным требованиям надежности арматуры;
- выявленные недостатки конструкции арматуры и рекомендации по их устранению с оценками эффективности предлагаемых мер с точки зрения их влияния на уровень надежности;
- перечень составных частей и элементов, лимитирующих надежность объекта, или, по которым отсутствуют необходимые данные для расчета, предложения по проведению дополнительных мероприятий по повышению (углубленному исследованию) их надежности или по их замене на более надежные (отработанные и проверенные);
- заключение о возможности перехода к следующему этапу отработки арматуры при достигнутом расчетном уровне его надежности.

10 Библиография

[1]	Федеральный закон от 21.07.1997 г. № 116 - ФЗ	О промышленной безопасности опасных производственных объектов
[2]	Государственный стандарт ГОСТ 27.002-89	Надежность в технике. Основные понятия и определения
[3]	Государственный стандарт ГОСТ 27. 301-95	Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения
[4]	Государственный стандарт ГОСТ 16504-81	Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения
[5]	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97)	Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ - 88/97)

Генеральный директор
ЗАО «НПФ «ЦКБА» Айриев В.А.

Первый заместитель генерального
директора - директор по научной работе Тарасьев Ю.И.

Заместитель генерального
директора - главный конструктор Ширяев В.В.

Начальник отдела стандартизации Дунаевский С.Н.

Исполнители:

Руководитель подразделения
Разработчика Доможиров В.Т.

Заместитель начальника
отдела № 152 Токмаков О.А.

Согласовано:
Федеральная служба по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Северо-Европейский округ
Письмо от 21.12.2005 г.
№ 4-10-4/638

Согласовано:
Председатель ТК 259 Власов М.И.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер изменения	Номер листа (страницы)				Номер документа	Подпись	Дата внесения изменения	Дата введения изменения
	измененного	замененного	нового	аннулированного				

gost.e-ecolog.ru