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

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

ЦКБА

СТАНДАРТ ЦКБА

СТ ЦКБА 008 - 2014

Арматура трубопроводная

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Санкт–Петербург
2014

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 «26» марта 2015 г. № 17**

3 СОГЛАСОВАН Техническим комитетом по стандартизации «Трубопроводная арматура и сильфоны» (ТК 259)

4 ВЗАМЕН СТ ЦКБА 008-2011 «Арматура трубопроводная. Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования»

По вопросам заказа стандартов ЦКБА
обращаться в ЗАО «НПФ «ЦКБА»
по тел/факс (812) 458-72-04, 458-72-36
195027, Россия, С-Петербург,
пр.Шаумяна, 4, корп.1, лит.А., а/я 33
E-mail: standard@ckba.ru

© ЗАО «НПФ «ЦКБА», 2014

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 4
3 Термины и определения 6
4 Общие положения 9
5 АВПО и АВПКО арматуры 13
6 Рекомендации по расчету и оценке надежности и безопасности 15
7 Методы расчета показателей безотказности 17
7.1 Структурный метод расчета ВБР арматуры 17
7.2. Метод расчета ВБР арматуры по критериям отказов 21
7.3 Метод расчета ВБР арматуры по прочности, нагрузке и параметрам 23
7.4 Расчет ВБР (интенсивности отказов) элемента (узла) арматуры, с составлением структурной блок-схемы надёжности соединения элементов (узлов) при заданной ВБР арматуры (решение обратной задачи) 26
7.5 Расчет наработки на отказ 28
8 Методы расчета показателей долговечности 29
8.1 Расчет срока службы 29
8.2 Расчет ресурса 29
9 Расчет и оценка назначенных показателей 30
9.1 Расчет и оценка назначенного срока службы 30
9.2 Расчет и оценка назначенного ресурса 31
10 Требования к оформлению расчета 31
Приложение А (справочное) Перечень потенциально возможных отказов арматуры 32
Приложение Б (справочное) Показатели безотказности элементов (узлов) арматуры 33
Приложение В (справочное) Значения поправочных коэффициентов для интенсивности отказов 35
Приложение Г (рекомендуемое) Таблицы для расчета ВБР элементов и узлов арматуры методами по 7.1, 7.2, 7.4 36
Приложение Д (рекомендуемое) Таблицы для расчета ВБР элементов и узлов арматуры методом по 7.3 37
Приложение Е (справочное) Значения коэффициентов вариации для основных параметров функционирования и механических свойств конструкционных материалов 38
Приложение Ж (справочное) Значения функции нормального распределения F(x) 39
Приложение И (рекомендуемое) Примеры расчета показателей безотказности 44
Библиография 82

СТАНДАРТ ЦКБА

Арматура трубопроводная

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Дата введения: 01.07.2015

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубопроводную арматуру (далее – арматуру) всех видов и типов, применяемую на производственных объектах всех отраслей промышленности и устанавливает методику расчета и оценки значений показателей надежности (безотказности и долговечности) и показателей безопасности (назначенных показателей) арматуры, ее узлов и приводных устройств к ней на этапе проектирования.

Настоящий стандарт разработан в соответствии с ГОСТ 27.301.

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

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 51901.12-2007 Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов

ГОСТ Р 54123-2010 Безопасность машин и оборудования. Термины, определения и основные показатели безопасности

ГОСТ Р 54808–2011 Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов

ГОСТ Р 55019–2012 Арматура трубопроводная. Сильфоны многослойные металлические. Общие технические условия

ГОСТ Р 55020–2012 Арматура трубопроводная. Задвижки шиберные для магистральных нефтепроводов. Общие технические условия

ГОСТ 2.105–95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 9.301–86 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования

ГОСТ 9.302–88 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля

ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные положения. Термины и определения

ГОСТ 27.301–95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

ГОСТ 27.310–95 Надежность в технике. Анализ видов последствий и критичности отказов. Общие положения

ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия

ГОСТ 1435-99 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия

ГОСТ 14959–79 Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия

ГОСТ 16504–81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения

ГОСТ 18175–78 Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки

НП-044-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, для объектов использования атомной энергии

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

ОТТ-23.060.30-КТН-246-08 Задвижки шиберные для магистральных нефтепродуктов и нефтеперекачивающих станций ОАО «АК «Транснефть»

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

Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением

СТ ЦКБА 005.1–2003 Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении. Часть 1. Основные требования к выбору материалов

СТ ЦКБА 005.3–2009 Арматура трубопроводная. Металлы, применяемые в арматуростроении. Часть 3. Зарубежные материалы и их отечественные аналоги

СТ ЦКБА 016-2005 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей, заготовок и сварных сборок из высоколегированных сталей, коррозионностойких и жаропрочных сплавов

СТ ЦКБА 024-2006 Арматура трубопроводная. Определение остаточного ресурса и показателей надежности

СТ ЦКБА 025-2006 Арматура трубопроводная. Сварка и контроль качества сварных соединений. Технические требования

СТ ЦКБА 027-2006 Арматура трубопроводная. Термическая обработка деталей из цветных сплавов на основе меди и никеля. Типовой технологический процесс

СТ ЦКБА 030-2006 Арматура трубопроводная. Пружины винтовые цилиндрические. Общие технические условия

СТ ЦКБА 037-2006 Арматура трубопроводная. Узлы сальниковые. Конструкция и основные размеры. Технические требования

СТ ЦКБА 043-2008 Арматура трубопроводная. Порядок нормирования и контроля надежности и безопасности

СТ ЦКБА 049-2009 Арматура трубопроводная. Обеспечение безотказности при изготовлении

СТ ЦКБА 055-2008 Арматура трубопроводная. Затворы арматуры с уплотнением из фторопласта-4 и композиционных материалов. Технические требования и методы крепления уплотнительных колец

СТ ЦКБА 058-2008 Арматура трубопроводная. Прокладки уплотнительные из паронита и резины. Размеры и технические требования

СТ ЦКБА 060-2008 Арматура трубопроводная. Ходовые резьбовые пары. Основные технические требования

СТ ЦКБА 064-2008 Арматура трубопроводная. Прокладки уплотнительные из фторопласта-4 и композиционных материалов на его основе. Размеры и технические требования

СТ ЦКБА 068-2008 Арматура трубопроводная. Затворы запорных клапанов с уплотнением «металл по металлу». Технические требования

СТ ЦКБА 083-2010 Арматура трубопроводная. Сильфоны многослойные из сплава ВТ1-0. Общие технические условия

ТУ 3791-012-00139181-2003 Электроприводы взрывозащищенные типа «А», «Б», «В», «Г», «Д» с двусторонней муфтой ограничения крутящего момента для запорной арматуры Ду 80...1200, Ру 1,6...10,0 МПа «ЭПЦ-100/400/1000/4000/10000»

ТУ 3791-019-00139181-2006 Электроприводы взрывозащищенные с двусторонней муфтой ограничения крутящего момента для запорной арматуры DN 800 ... 1200 PN 8,0 ... 15,0 МПа «ЭПЦ-10000/15000/20000/50000».

3 Термины и определения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **оценка надежности и безопасности арматуры:** Процедура сравнения количественных значений показателей надежности и показателей безопасности арматуры, полученных в результате расчета с требуемыми значениями этих показателей.

3.1.2 **безотказность:** Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки

[ГОСТ 27.002-89 статья 1.2]

3.1.3 **безопасность:** Способность объекта выполнять требуемую функцию в состоянии, при котором отсутствует недопустимый риск.

[ГОСТ Р 54123-2010 статья 2.1.2]

3.1.4 **показатели безопасности арматуры:** Показатели, характеризующие состояние арматуры, при котором вероятность возможного критического отказа арматуры, в период требуемого (назначенного) срока службы (ресурса), имеет допустимое значение и отсутствует возможность нанесения вреда жизни или здоровью людей в результате их контакта с арматурой или рабочей средой при безотказной работе арматуры.

Примечание – Показатели безопасности арматуры включают: назначенный срок службы, назначенный ресурс, вероятность безотказной работы по отношению к критическим отказам, коэффициент оперативной готовности (для арматуры, работающей в режиме ожидания).

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

[ГОСТ 27.002-89 статья 2.5]

3.1.6 **критическое предельное состояние:** Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима из-за возможности наступления критического отказа.

[ГОСТ Р 54123-2010 статья 2.1.22]

3.1.7 **отказ:** Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

[ГОСТ 27.002-89 статья 3.3]

3.1.8 **критический отказ**: Отказ машины и (или) оборудования, возможным последствием которого является причинение вреда жизни или здоровью человека, имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.

[ГОСТ Р 54123-2010 статья 2.1.27]

3.1.9 **вероятность безотказной работы:** Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

[ГОСТ 27.002-89 статья 6.8]

3.1.10 **вероятность безотказной работы по отношению к критическим отказам**: Вероятность того, что в пределах заданной наработки критический отказ объекта не возникнет.

[ГОСТ Р 54123-2010 статья 2.1.25]

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

[ГОСТ 27.002-89 статья 4.9]

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

[ГОСТ 27.002-89 статья 4.10]

3.1.13 **отказ независимый:** Отказ, не обусловленный другими отказами.

[ГОСТ 27.002-89 статья 3.9]

3.1.14 ***отказы арматуры по общей причине:*** *Отказы арматуры, возникающие вследствие одного отказа или ошибки персонала, или внешнего или внутреннего воздействия, или иной внутренней причины [1].*

Примечания

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.

3.1.15 ***отказ зависимый***: *Отказ, обусловленный другими отказами.*
[ГОСТ 27.002-89 статья 3.10]

3.1.16 ***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 [1].*

3.1.17 ***системы (элементы) безопасности:*** *Системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности [1].*

3.1.18 ***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 [1].*

3.1.19 ***системы (элементы) независимые:*** *Системы (элементы), для которых отказ одной системы (элемента) не приводит к отказу другой системы (элемента) [1].*

3.1.20 ***системы (элементы) нормальной эксплуатации:*** *Системы (элементы), предназначенные для осуществления нормальной эксплуатации [1].*

3.1.21 **элемент**: Составная часть арматуры, рассматриваемая при расчете надежности как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению.
[ГОСТ 27.301-95, пункт 3.3]

3.1.22 **работоспособное состояние (работоспособность)**: Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.
[ГОСТ 27.002-89 статья 2.3]

3.1.23 **неработоспособное состояние (неработоспособность):** Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и(или) конструкторской (проектной) документации.

[ГОСТ 27.002-89 статья 2.4]

3.1.24 **восстанавливаемый объект:** Объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

[ГОСТ 27.002-89 статья 5.6]

3.1.25 **невосстанавливаемый объект:** Объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

[ГОСТ 27.002-89 статья 5.7]

3.1.26 **ремонтируемый объект:** Объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

[ГОСТ 27.002-89 статья 5.8]

3.1.27 **неремонтируемый объект:** Объект, ремонт которого не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

[ГОСТ 27.002-89 статья 5.9]

3.1.28 **испытания на надежность:** Испытания, проводимые для определения показателей надежности в заданных условиях.

[ГОСТ 16504-81, пункт 76]

4 Общие положения

4.1 Расчет надежности и безопасности арматуры заключается в определении значений показателей надежности и показателей безопасности арматуры, с использованием методов, основанных на их вычислении по справочным данным о надежности и безопасности элементов арматуры, по данным о надежности и безопасности аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета.

4.2 Оценка надежности и безопасности арматуры заключается в сравнении количественных значений показателей надежности и показателей безопасности арматуры, полученных в результате расчета с требуемыми значениями этих показателей.

4.3 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 (ТЗ);
- обоснования количественных требований по надёжности арматуры и распределения их значений по элементам конструкции;
- обоснования и проверки эффективности предлагаемых мер по доработке конструкции, технологии изготовления, периодичности технического обслуживания (ТО) и ремонта.
- решения задач безопасности и оценки риска.

4.4 Оценка безопасности арматуры на этапе проектирования проводится с целью:

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

4.5 Показатели надежности и показатели безопасности должны задаваться в ТЗ на разработку или в документе, заменяющем ТЗ, с учетом действующих технических регламентов, стандартов на конкретные виды и типы арматуры и указываться в технических условиях (ТУ) и эксплуатационной документации.

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

4.7 Разработка конструкции арматуры должна осуществляться с учетом требований безопасности действующих нормативных документов, применяемых на объектах, где предполагается эксплуатация арматуры (технических регламентов Таможенного союза: «О безопасности машин и оборудования», «О безопасности машин и оборудования, работающего под избыточным давлением», «О безопасности низковольтного оборудования», «О безопасности оборудования, работающего во взрывоопасных средах»; правил надзорных органов, например: ПБ 03-182-98, НП-044-03 и других).

4.8 Надежность и безопасность арматуры на этапе проектирования обеспечиваются:

1) выполнением анализа видов и последствий отказов (АВПО) или анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) с оценкой достигнутой надежности и безопасности арматуры;

2) конструктивным исполнением арматуры в соответствии с показателями назначения и требованиями заказчика;

3) выбором материалов для изготовления деталей арматуры и сварных соединений в соответствии с требованиями нормативных документов (или с выполнением соответствующих испытаний), отвечающих условиям эксплуатации

(давление, температура, состояние рабочей среды, характеристика окружающей среды);

4) выполнением всех необходимых расчетов конструкции по верифицированным методикам (силовой, прочностной и др. при установленных параметрах и характеристиках, с обеспечением необходимого запаса прочности и др., с учетом предполагаемой скорости коррозии (эрозии) и внешних воздействий);

5) проведением всех необходимых испытаний отдельных сборочных единиц, деталей, макетов и опытных образцов проектируемой арматуры с целью подтверждения правильности принятых конструктивных решений, обеспечивающих работоспособность, надежность и безопасность.

4.9 Конструкция арматуры должна обеспечивать ее работоспособность и безопасность в рабочих условиях исходя из видов опасности, которые могут возникнуть, в том числе:

- механическая;
- электрическая;
- термическая;
- радиационная;
- химическая;
- взрывоопасность;
- пожароопасность;
- уровень шума и вибрации.

4.10 При проектировании арматуры, предназначенной для эксплуатации на опасном производственном объекте, в соответствии с [2], должны быть установлены показатели надежности и показатели безопасности, обеспечивающие надежное и безопасное функционирование арматуры.

4.11 Как правило, для арматуры опасных производственных объектов устанавливаются показатели надежности, указанные в таблице 1 и показатели безопасности, указанные в таблице 2.

4.12 Проектируемая арматура для АС должна отвечать требованиям НП-068-05.

Таблица 1 – Номенклатура нормируемых показателей надежности

Показатели надежности	Наименование показателя[1]		Размерность
	Для арматуры, отказ которой может быть критическим	Для арматуры, отказ которой не является критическим	
Показатели безотказности	Вероятность безотказной работы [2]		-
		Наработка на отказ (между отказами, до отказа)[3]	цикл (ч)
Показатели долговечности[4]	Полный срок службы (до списания)	Полный срок службы (до списания), (срок службы до капитального ремонта)	год
	Полный ресурс (до списания)	Полный ресурс (до списания), (ресурс до капитального ремонта)[3]	цикл (ч)
Показатель сохраняемости	Срок хранения		год
Показатели ремонтопригодности	Время восстановления работоспособного состояния арматуры		ч
	Трудоемкость работ по восстановлению работоспособного состояния арматуры		норма времени (ч)

[1] Из наименования показателей исключено понятие «средняя» («средний»), допускающее разброс значений показателей, среди которых могут быть недопустимые (неприемлемые).
[2] Показатель «вероятность безотказной работы» измеряется в относительных единицах.
[3] Для регулирующей арматуры – в часах.
[4] Для всех видов арматуры, устанавливаемой на емкостях для транспортировки опасных грузов (цистерны, контейнеры и др.), показатели долговечности должны устанавливаться дополнительно в километрах пробега.

Таблица 2 – Номенклатура нормируемых показателей безопасности арматуры

Наименование показателя		Размерность
Назначенные показатели	Назначенный ресурс[1]	цикл (ч)
	Назначенный срок службы	год
	Назначенный срок хранения	год
Показатели безотказности	Вероятность безотказной работы в течение назначенного ресурса, по отношению к критическим отказам (к конкретному критическому отказу)	–
	Коэффициент оперативной готовности (для арматуры, работающей в режиме ожидания)	–

[1] Для регулирующей арматуры – в часах.

Порядок выбора показателей, указанных в таблицах 1 и 2 – в соответствии с СТ ЦКБА 043, с учетом примечания 1 к таблице 1.

5 АВПО и АВПКО арматуры

5.1 Общие рекомендации по выполнению АВПО и АВПКО приведены в ГОСТ Р 51901.12 и ГОСТ 27.310.

АВПО и АВПКО (далее - анализ) являются итеративными (повторяющимися до достижения определенной цели) процессами, выполняемыми одновременно с процессом проектирования.

Анализ представляет собой метод, позволяющий идентифицировать тяжесть последствий видов потенциальных отказов, и обеспечить меры по снижению риска.

5.2 Рекомендуется проводить анализ на ранних стадиях разработки арматуры, когда устранение или сокращение последствий и количества видов отказов является экономически наиболее эффективным. Анализ может быть начат, как только арматура может быть представлена в виде функциональной блок-схемы с указанием ее элементов. Анализ, как правило, предшествует этапу расчетной количественной оценки надежности и безопасности, осуществляемой по блок-схеме арматуры.

5.3 Основаниями для применения анализа могут быть:

а) идентификация отказов, которые имеют нежелательные последствия для функционирования арматуры, например прекращение или значительное ухудшение работы или влияние на безопасность пользователя;

б) выполнение требований заказчика, установленных в контракте;

в) повышение надежности или безопасности арматуры (например, путем изменения проекта или проведения действий по обеспечению качества);

г) повышение ремонтопригодности арматуры путем выявления областей риска или несоответствий применительно к ремонтопригодности.

5.4 Целями анализа для арматуры могут быть:

а) разработка плана улучшения проекта путем сокращения количества и последствий видов отказов;

б) разработка плана эффективного технического обслуживания для снижения вероятности возникновения отказов; и другие.

5.5 Важно определить уровень, который будет использован для анализа. Например, в арматуре могут возникнуть нарушения ее функций или отказы сменных элементов или уникальных компонентов. Основные правила выбора уровней для анализа зависят от желаемых результатов и доступности необходимой информации. Целесообразно использовать следующие основные принципы выбора уровней анализа:

а) высший уровень выбирают исходя из концепции проекта и установленных требований к выходным параметрам;

б) самый нижний уровень, на котором анализ является эффективным, - это уровень, характеризующийся наличием доступной информации для определения и описания его функций. Выбор соответствующего уровня зависит от предыдущего опыта. Для арматуры, основанной на отработанном проекте с зафиксированными и высокими уровнями надежности, ремонтопригодности и безопасности, применяют менее детальный анализ. Более детальную проработку и соответственно более

низкие уровни анализа вводят для недавно разработанной арматуры или арматуры с неизвестной хронологией надежности;

с) установленный или предполагаемый уровень технического обслуживания и ремонта является ценным руководством при определении более низких уровней анализа.

5.6 АВПО применяют, когда отказы арматуры не являются критическими, АВПКО – при возможности критических отказов арматуры.

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

5.7 При проведении анализа должны были выполнены следующие этапы процедуры:

а) решение о том, какой метод - АВПО или АВПКО необходим;

б) определение границ арматуры для анализа;

в) осознание требований и функций арматуры;

г) определение критериев отказа;

д) определение видов отказов и последствий отказов каждого элемента;

е) описание каждого последствия отказа;

ж) составление отчета.

Дополнительные этапы для АВПКО:

и) определение рангов (баллов, значений) тяжести последствий отказов арматуры;

к) составление матриц критичности последствий для видов отказов;

л) описание критичности последствий видов отказов в соответствии с матрицей критичности;

м) составление отчета для всех уровней анализа.

Примечание – Тяжесть последствий должна оцениваться с учетом частоты отказов.

5.8 Анализ арматуры проводится по потенциально возможных конструктивным и производственным отказам ее узлов и деталей, с учетом их критичности. Перечень потенциально возможных отказов арматуры приведен в приложении А.

5.9 По результатам анализа составляется отчет, включающий в себя все выводы и рекомендации на проектирование и расчеты конструкции арматуры.

5.10 Анализ следует обновлять по мере продвижения проекта и изменения конструкции арматуры. В конце этапа проектирования анализ используют для проверки конструкции и демонстрации соответствия разработанной арматуры установленным требованиям заказчика (пользователя), требованиям стандартов, инструкций и обязательным требованиям.

Информация, полученная на основе анализа, идентифицирует приоритеты для статистического управления производственным процессом, выборочного контроля и входного контроля в процессе производства и монтажа, а также для приемочных приемо-сдаточных и квалификационных испытаний. Анализ, кроме того, является источником информации для процедур диагностики, технического обслуживания при разработке соответствующих инструкций и руководств.

6 Рекомендации по расчету и оценке надежности и безопасности

6.1 Расчет показателей надежности и показателей безопасности (далее - расчет надежности и безопасности), в соответствии с ГОСТ 27.301, включает:

- определение целей и задач расчета, номенклатуры и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности и показателей безопасности;
- выбор метода расчета, соответствующего особенностям арматуры, целям расчета, наличию необходимой информации об арматуре и исходных данных для расчета;
- составление расчетных моделей для каждого показателя;
- получение и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности и показателей безопасности арматуры, ее составных элементов и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми показателями;
- оформление результатов расчета.

6.2 Расчет надежности и безопасности арматуры на этапе проектирования проводится исходя из возможных отказов методами, приведенными в настоящем стандарте, с использованием данных априорной информации о надежности и безопасности арматуры, ее узлов и деталей, а также данных эксплуатационной статистики аналогичной арматуры, ее узлов и деталей.

6.3 Полученные расчетные значения показателей надежности и показателей безопасности, должны удовлетворять требованиям ТЗ на проектирование арматуры и являться исходными данными для организации производства или ремонта, с целью обеспечения установленных значений показателей.

6.4 В расчете должны быть оговорены все принимаемые допущения.

6.5 Метод расчета показателей безотказности арматуры выбирается исполнителем исходя из требований ТЗ на проектирование:

- если арматура состоит из узлов и деталей, информация о безотказности которых имеется, то расчет рекомендуется производить методом, указанным в 7.1 или 7.2;
- если информация о безотказности узлов или деталей новой арматуры отсутствует, то расчет рекомендуется производить методом, указанным в 7.3;
- если задана требуемая ВБР арматуры и необходимо определить ВБР (интенсивность отказов) всех элементов (узлов) или задана требуемая ВБР арматуры, известны ВБР некоторых элементов (узлов) и нужно определить необходимую ВБР элемента (узла) или нескольких элементов (узлов), то расчет рекомендуется производить методом, указанным в 7.4.

6.6 Количественные значения ВБР (интенсивности отказов) основных элементов (узлов), комплектующих арматуру, принимаются, как правило, в соответствии с нормативной технической документацией на элементы (узлы), комплектующие арматуру, по данным предприятия-изготовителя комплектующих или на основании достоверных статистических данных официальных источников информации по эксплуатации аналогичных узлов и деталей. Информация о безотказности отдельных элементов (узлов) арматуры приведена в приложении Б.

6.7 Полученная расчетная ВБР (интенсивность отказов) арматуры сравнивается с требуемой (заданной в ТЗ).

Если расчетная ВБР арматуры не ниже (интенсивность отказов не выше) заданной ВБР (интенсивности отказов), то элементы (узлы) могут рассматриваться в качестве элементов (узлов) проектируемой арматуры.

Если расчетная ВБР арматуры ниже (интенсивность отказов выше) требуемой ВБР (интенсивности отказов), 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 обеспечения требуемой ВБР.

6.8 Принимаемые меры по обеспечению требуемой надежности и безопасности 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.

6.9 При невозможности обеспечения требуемой надежности и безопасности 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 приняты дополнительные меры по обеспечению требуемой надежности и безопасности системы, с учетом недостаточной надежности и безопасности проектируемой арматуры.

6.10 При решении обратной задачи, когда ВБР (интенсивности отказов) всех элементов (узлов) неизвестны, все искомые элементы (узлы), участвующие в расчете, принимаются равнонадежными. Расчет производится исходя из влияния элементов (узлов) на конкретный вид отказа.

Примечание – Результаты обратного расчета ВБР (интенсивности отказов) элементов могут использоваться при решении прямых задач для типовых конструкций арматуры, в случае отсутствия информации о безотказности данных элементов и при условии, что эти значения ВБР (интенсивности отказов) обеспечиваются изготовителем.

6.11 Полученные расчетные данные должны быть в дальнейшем уточнены и дополнены результатами испытаний. Окончательный вывод о надежности и безопасности спроектированной арматуры формируется по результатам сбора и анализа статистических данных о работе арматуры в условиях эксплуатации.

6.12 Анализ надежности и безопасности при проектировании арматуры АС должен проводиться с учетом отказов по общей причине.

6.13 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.

6.14 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.

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

7 Методы расчета показателей безотказности

7.1 Структурный метод расчета ВБР арматуры

7.1.1 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 (срока службы и ресурса) и (или) назначенных показателей (назначенного срока службы, назначенного ресурса) 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, т.е. 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.*

7.1.2 Исходными данными для расчета являются:

а) ТЗ и (или) технические условия (ТУ);

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) 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.

7.1.3 Методика расчета

7.1.3.1 Расчет вероятности безотказной работы арматуры производится, исходя из ВБР (интенсивности отказов) элементов и узлов арматуры.

7.1.3.2 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 соответствующей математической моделью;

- определение ВБР арматуры.

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

ССН 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 ССН будет иметь вид последовательного соединения элементов-функций.

Разработка ССН арматуры производится с соблюдением следующих принципов (правил):

1) разделения арматуры на элементы (системы), выполняющие определенные функции;

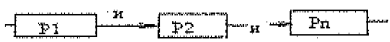
2) отражения в ССН связи между всеми элементами;

3) любой возможный вид отказа элемента является независимым событием;

4) в ССН не должно быть элементов, возможный отказ которых отрицает возможный отказ других элементов.

7.1.3.3 Расчет ВБР арматуры как системы элементов (узлов) (P_c) по данным ВБР элементов (узлов) (P_j) производится по формулам (1), (2), (3), (4) для следующих схем:

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



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

где j (от 1 до n) – номер элемента (узла) в схеме;

n – количество последовательно соединенных элементов в схеме;

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

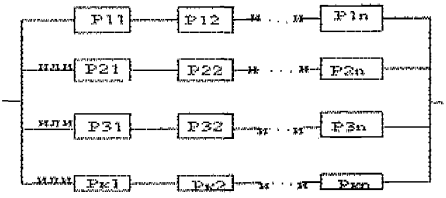


$$P_c = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \ldots \cdot (1 - P_k) = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - Pi) \,, \qquad (2)$$

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)



$$P_c = 1 - (1 - P_{11} \cdot P_{12} \cdot \ldots \cdot P_{1n}) \cdot (1 - P_{21} \cdot P_{22} \cdot \ldots \cdot P_{2n}) \times$$
$$\times (1 - P_{k1} \cdot P_{k2} \cdot \ldots \cdot P_{kn}) = 1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - \prod_{j=1}^{n} P_{ij}) \qquad (3)$$

где j (от 1 до n) - номер элемента (узла) в i-й подсистеме;

n – количество элементов в i-й подсистеме;

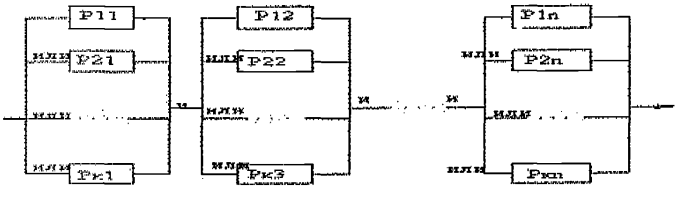
i (от 1 до k) - номер подсистемы в схеме;

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)



$$P_c = [1 - (1 - P_{11}) \cdot (1 - P_{21}) \cdot \ldots \cdot (1 - P_{k1})] \cdot [1 - (1 - P_{12}) \cdot (1 - P_{22}) \cdot \ldots \cdot (1 - P_{k2})] \times$$
$$x[1 - (1 - P_{1n}) \cdot (1 - P_{2n}) \cdot \ldots \cdot (1 - P_{kn})] = \prod_{j=1}^{n} \left[1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - P_{ij}) \right] \qquad (4)$$

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

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

7.1.3.4 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)

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

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

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

где λ_{0i} – среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации, определяемая (приводимая, указываемая) независимо от нахождения элемента под нагрузкой или без нагрузки;

β_1 – поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов (выбирается из таблицы В.1 приложения В).

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

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

где β_2 - поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента (для электрических элементов выбирается из таблицы В.2 приложения В, для остальных элементов - принимается равным 1×10^{-3}).

7.1.3.7 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

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

7.1.3.8 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

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m_i(\lambda_i \cdot t_i + \lambda_i^* \cdot t_i^*)}; \quad (11)$$

или

$$P_j(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m_i \lambda_{0i} T_i}; \quad (12)$$

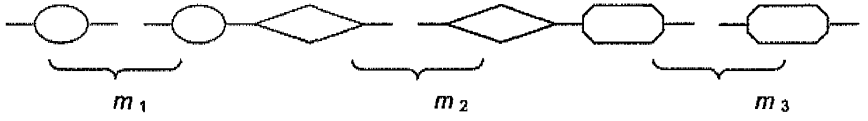
или

$$P_j(t) = e^{\sum_{i=1}^{k} m_i \frac{t}{t^*} \ln P_i(t^*)} \quad (13)$$

где m_i - число элементов *i*-го типа в группе элементов или в арматуре, $i=1 \div k$.

k - число типов элементов в группе или арматуре.

Графическое изображение ССН с последовательным соединением разнотипных элементов имеет вид:



7.1.3.9 Для расчета вероятности безотказной работы отдельных элементов рекомендуется заполнять таблицу Г.1 приложения Г.

7.1.3.10 Пример расчета показателей надежности данным методом приведен в приложении И.

7.2. Метод расчета ВБР арматуры по критериям отказов

7.2.1 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 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.

7.2.2 Исходными данными для расчета являются:

а) ТЗ и (или) ТУ;

б) сборочный чертеж арматуры и спецификация;

в) перечень отказов и критериев предельных состояний арматуры в соответствии с ТЗ и (или) ТУ;

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.

7.2.3 Методика расчета ВБР

7.2.3.1 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 уровень (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 – «зависимое событие»);



- «не» (знак зависимости – «независимое событие»);



- «или» (знак зависимости).

Пример построения схемы отказов приведен в приложении И (рисунок И.1).

В соответствии с построенной схемой рекомендуется заполнять таблицу Г.2 приложения Г.

7.2.3.2 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;

$j = 1 \div k$ - отказ или критерий предельных состояний;

k - количество отказов (критериев предельных состояний).

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

7.2.3.3 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

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

где $l = (1; n)$ – события или элементы *i*+1-го 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

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

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 с учетом группировки событий или элементов по связям в схеме соединения.

Знак «не» указывает на независимость событий *i*+1 уровня.

7.2.3.4 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 P_{ij} в течение заданного периода *t* нужно определять, исходя из данных об интенсивностях отказов (ВБР) элементов арматуры, а также данных, указанных в приложении Б, по формулам (8) - (10) или, соответственно, по формулам (11) – (13).

7.2.3.5 Перечень возможных отказов арматуры приведен в приложении А.

7.2.3.6 Пример расчета по данному методу приведен в приложении И.

7.3 Метод расчета ВБР арматуры по прочности, нагрузке и параметрам

7.3.1 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.

7.3.2 Исходными данными для расчета являются:

а) ТЗ и (или) ТУ;

б) перечень отказов и критериев предельных состояний;

в) предельные значения параметров функционирования, определяющие отказы или соответствующие критериям предельных состояний;

г) силовой и прочностной расчет арматуры;

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

7.3.3 Методика расчета

7.3.3.1 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 или детали арматуры в течение периода t;

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

7.3.3.2 Расчет вероятности $P_1(t)$.

Вероятность $P_1(t)$ определяется вероятностью неразрушения наиболее слабого узла или детали арматуры в течение времени t, т.е.

$$P_1(t) = \min P_{1i}(t), \qquad (18)$$

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

Наиболее слабый элемент определяется по данным статистики об отказах аналогичных деталей в изделиях-прототипах 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 $P_{1i}(t)$ для деталей определяется по формуле

$$P_{1i} = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{\kappa_{ri}^2 + \varphi_i^2 \cdot \kappa_{si}^2}}\right), \qquad (19)$$

где $F(...)$ – функция нормального распределения, определяемая по приложению Ж, параметр функционирования в таблицах приложения Ж обозначен знаком «X»;

φ_i – коэффициент запаса прочности, определяемый по формуле

$$\varphi_i = \frac{M_{ri}}{M_{si}}, \qquad (20)$$

где M_{ri} и M_{si} – ожидаемые средние значения показателей прочности (например, предела текучести, предела прочности) R и нагрузки (например, мембранного напряжения) S;

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

При расчете узлов, когда разрушение происходит за счет взаимного механического воздействия деталей узла, вероятность P_{1i} неразрушения узла определяется как произведение вероятностей неразрушения деталей по формуле

$$P_{1i\text{узла}}(t) = \prod_{j=1}^{n} P_{1ij}(t) \qquad (21)$$

где P_{1ij} – вероятность неразрушения j-й детали узла при действии i-й нагрузки, определяемая по формуле (19).

При расчете узлов, когда разрушение происходит без взаимного механического воздействия деталей узла, вероятность P_{1i} неразрушения узла определяется по формуле

$$P_{1i\text{узла}}(t) = min \;\; P_{1ij}(t) \qquad (22)$$

7.3.3.3 Для расчета величин P_{1i} рекомендуется заполнять таблицу Д.1 приложения Д, при этом:

- значения напряжений принимаются по результатам прочностного расчета узлов и деталей арматуры;

- значения коэффициента вариации прочности $к_{fi}$, определяются по таблице приложения Е, исходя из материала детали;

- значения коэффициента вариации нагрузки $к_{si}$, определяются по таблице приложения Е, исходя из вида нагрузки. Если нет данных о его величине, то значение $к_{si}$ выбираются из интервала [0,2 – 0,3];

- значения функции нормального распределения $F(x)$ определяют по таблице приложения Ж в зависимости от «X».

7.3.3.4 Расчет вероятности $P_2(t)$.

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

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

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.

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

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

- если параметр функционирования ограничен снизу

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

- если параметр функционирования имеет двухстороннее ограничение

$$P_{2j}(t) = F\left(\frac{y_в - y_н}{k_{yj} \cdot y_j}\right), \qquad (26)$$

где $F(...)$ – функция нормального распределения, определяемая по приложению Ж, параметр функционирования в таблицах приложения Е обозначен знаком «х»;

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

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

$к_{yj}$ – коэффициент вариации параметра работоспособности (отношение среднеквадратичного отклонения параметра к его среднему значению в процентах), определяемый по приложению Е или по данным эксплуатационной статистики (априорной информации).

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

- величина, ограничивающая значения параметра функционирования принимается по нормативным документам или задается заказчиком в техническом задании;

- значения коэффициента вариации параметра функционирования $к_{yj}$, определяется по таблице приложения Е;

- значение функции нормального распределения $F(x_j)$ определяется по приложению Ж в зависимости от значения аргумента x_j;

- значения вероятности P_{2j} определяется по формулам (24) - (26).

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

7.3.3.5 Пример расчета показателей надежности данным методом приведен в приложении И.

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

7.4.1 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, назначенный срок службы (ресурс) 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.

7.4.2 Исходными данными для расчета являются:

а) ТЗ и (или) ТУ;

б) сборочный чертеж арматуры и спецификация;

в) заданный период, для которого необходимо определить показатели безотказности (период непрерывной работы, срок службы (ресурс) до капитального ремонта и (или) назначенный срок службы (ресурс) и т.д.);

г) время совершения одного цикла;

д) режим работы арматуры;

ж) ВБР арматуры;

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

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 продолжительность ее пребывания в открытом (или закрытом) положении в процентах от заданного периода.

7.4.3 Методика расчета

7.4.3.1 Расчет вероятности безотказной работы искомого элемента арматуры проводится, исходя из вероятности безотказной работы арматуры (интенсивности отказов) и вероятности безотказной работы (интенсивности отказов) ее различных элементов и узлов.

7.4.3.2 При расчете арматура условно разбивается на элементы (узлы) и составляется соответствующая ССН (см. 7.1). Расчет проводится аналогично расчету, приведенному в 7.1.3.3 – 7.1.3.9, в зависимости от составленной ССН арматуры.

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

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

где i (от 1 до n) – номер элемента (узла) в схеме, $(n-1)+u=n$.

Откуда,

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

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

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

7.4.3.4 Расчет Pi и $P_{c\text{-}1}$ проводится в соответствии с 7.1 (7.1.3.3 – 7.1.3.10).

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

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

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

$$\lambda_{0и} = - \ln P_и (t) / (\beta_1 \cdot t'_и + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot t''_и) \quad (30)$$

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

$$\lambda_{0и} = - \ln P_и (t) / T_и \quad (31)$$

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

$$P_с = P_и^{\,n} . \quad (32)$$

Откуда, ВБР каждого искомого элемента (узла)

$$P_и = \sqrt[n]{P_с} . \quad (33)$$

Интенсивность отказов каждого искомого элемента (узла), при необходимости, определяется по формулам (30) или (31).

7.4.3.8 Пример расчета показателей надежности элементов арматуры приведен в приложении И.

7.4.3.9 Исходя из того, что ВБР спроектированной арматуры должна соответствовать требованиям ТЗ, полученные в результате обратного расчета значения ВБР (интенсивностей отказов) отдельных элементов могут использоваться для решения прямых задач (7.1 и 7.2), при решении которых ВБР (интенсивностей отказов) данных элементов неизвестна.

7.5 Расчет наработки на отказ

7.5.1 Наработка на отказ арматуры $T^0_{изд}$ определяется из формулы

$$\frac{1}{T^0_{изд}} = \sum_{i=1}^{r} \frac{1}{T_i} \quad (34)$$

где i (от 1 до r) – число узлов и деталей арматуры, лимитирующих наработку между отказами;

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

7.5.2 Значения T_i определяются по формуле

$$T_i = \frac{1}{\lambda_i} , \quad (35)$$

где λ_i – интенсивность отказов i-го узла или детали.

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

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

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

Примечание – Показатель «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 при одновременном выполнении функции элементами (узлами);
- суммарной наработке до отказа элементов при поочередном выполнении ими функции.

8 Методы расчета показателей долговечности

8.1 Расчет срока службы

8.1.1 Полный срок службы арматуры (до списания) $C_п$ определяется по формуле

$$C_п = \min C_j, \quad (36)$$

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

8.1.2 Величина C_j определяется по формуле

$$C_j = \frac{1}{\lambda_j}, \quad (37)$$

где λ_j – интенсивность отказов j-го узла или детали, лимитирующих долговечность арматуры (определяется исходя из априорной или статистической информации о надежности узла или детали 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 (например, в соответствии с методикой приведенной в СТ ЦКБА 024).

8.2 Расчет ресурса

8.2.1 Полный ресурс арматуры (до списания) $T_{р.п}$ в часах определяется по формуле

$$T_{р.п} = 8000\, C_п, \quad (38)$$

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

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

8.2.2 Полный ресурс арматуры $T_{р.п}$ в циклах определяется по формуле

$$T_{р.п} = N\, C_п, \quad (39)$$

где $C_п$ – 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 (38) и (39) следует применять в случае отсутствия в ТЗ информации о соотношении полного ресурса и полного срока службы арматуры, с учетом фактического выполнения арматурой функций по назначению в течение заданного периода и параметров ее эксплуатации.

9 Расчет и оценка назначенных показателей

9.1 Расчет и оценка назначенного срока службы

9.1.1 Назначенный срок службы арматуры определяет ее срок службы, в течение которого критического отказа не должно произойти с вероятностью близкой к единице.

9.1.2 Назначенный срок службы $C_н$ определяется по формуле

$$C_н = \frac{C_п}{n}, \quad (40)$$

где n – коэффициент запаса по сроку службы;

$C_п$ – полный срок службы арматуры, определяемый по формуле (36).

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.

9.1.3 Оценка назначенного срока службы заключается в расчете соответствующей ему ВБР, исчисленной по критическим отказам, и сравнение ее значения с единицей.

9.1.4 ВБР арматуры, исчисленная по критическим отказам за назначенный срок службы, определяется по методике указанной в 7.2, с учетом того, что в расчет принимаются только элементы (узлы) арматуры, отказы которых приводят к критическому отказу арматуры, и заданным периодом эксплуатации является назначенный срок службы.

9.1.5 Необходимая близость ВБР к единице определяется категорией опасности объекта, на котором предполагается эксплуатировать арматуру, степенью допустимости критического отказа с учетом тяжести последствий и должна быть согласована с заказчиком арматуры.

Примечание – Например, ВБР, исчисленная по критическим отказам за назначенный срок службы 4 года равная 0,99998, означает, что на 100 000 изделий при эксплуатации каждого в течение 4 лет **может** произойти не более 2-х критических отказов.

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

9.2 Расчет и оценка назначенного ресурса

9.2.1 Назначенный ресурс арматуры определяет ее ресурс, в течение которого критического отказа не должно произойти с вероятностью близкой к единице.

9.2.2 Назначенный ресурс $T_{рн}$ определяется по формуле

$$T_{рн} = \frac{T_{р.п}}{m}, \quad (41)$$

где m – коэффициент запаса по ресурсу (выбирается аналогично n в 9.1);

$T_{р.п}$ – полный ресурс арматуры, определяемый по формулам (38) и (39).

9.2.3 Оценка назначенного ресурса производится аналогично оценке назначенного срока службы.

10 Требования к оформлению расчета

10.1 Расчет надежности и безопасности на этапе проектирования следует оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105.

10.2 Расчет должен содержать следующие разделы:

- задача расчета;
- основные допущения, применяемые при расчете;
- исходные данные и источники справочной информации (статистических данных);
- расчет количественных значений показателей;
- результаты расчета (заключение).

10.3 Раздел «Результаты расчета» должен содержать:

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

Приложение А
(справочное)

Перечень потенциально возможных отказов арматуры

Потенциально возможные отказы арматуры:

- 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 по сильфонному уплотнению;
- 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»;
- непредусмотренное регламентом выполнение функции «открытия-закрытия»;
- несоответствие времени срабатывания, установленному в нормативной документации (для отсечной арматуры).

Примечание – Перечень отказов может уточняться в процессе проектирования в зависимости от вида и типа арматуры и условий ее эксплуатации.

Приложение Б
(справочное)

Показатели безотказности элементов (узлов) арматуры

Б.1 В соответствии с 6.6 количественные значения показателей безотказности (ВБР, интенсивности отказов) основных элементов (узлов), комплектующих арматуру, принимаются, как правило, по данным предприятия-изготовителя комплектующих, а также в соответствии с нормативной и технической документацией на данные элементы (узлы) или на основании достоверных статистических данных официальных источников информации по эксплуатации аналогичных узлов и деталей.

Б.2 При проектировании арматуры с новыми конструкциями элементов (узлов) их ВБР рекомендуется принимать **близкой к единице** при обеспечении выполнения следующих условий (требований, мер):

1) Обеспечено соответствие конструкции показателям назначения и требованиям заказчика;

2) Материалы для изготовления деталей арматуры выбраны в соответствии с требованиями нормативных документов (или с выполнением соответствующих испытаний), отвечающих условиям эксплуатации (давление, температура, состояние рабочей среды, характеристика окружающей среды);

3) Выполнены все необходимые расчеты конструкции по верифицированным методикам (силовой, прочностной и др. при установленных параметрах и характеристиках, с обеспечением необходимого запаса прочности и др., с учетом предполагаемой скорости коррозии (эрозии) и внешних воздействий);

4) Проведены все необходимые испытания отдельных сборочных единиц, деталей, макетов и опытных образцов проектируемой арматуры с целью подтверждения правильности принятых конструктивных решений, обеспечивающих работоспособность, надежность и безопасность.

Б.3 Принимаемая близость ВБР элементов (узлов) к единице должна обеспечивать ВБР изделия в целом.

При отсутствии информации указанной в Б.1, с учетом опыта эксплуатации арматуры, статистической информации о конструктивных и производственных отказах ее деталей и узлов, при выполнении условий (требований, мер), указанных в Б.2, рекомендуется в расчетах принимать значения ВБР указанные в таблице Б.1.

Таблица Б.1 – ВБР деталей (узлов, соединений) арматуры

Наименование детали (узла, соединения)	Назначенный срок службы, назначенный ресурс	Значение ВБР, не менее
Корпусные и крепежные детали	50 лет	0,9999
Бугельные узлы, сварные и резьбовые соединения, шток, шпиндель, шибер, диск, фланец	30 лет	0,999
Прокладки уплотнительные из паронита и резины (по СТ ЦКБА 058)	8 лет	0,99
Прокладки уплотнительные из фторопласта-4 и композиционных материалов на его основе (по СТ ЦКБА 064)	10 лет	0,999
Сальниковые узлы (по СТ ЦКБА 037)	По приложению А СТ ЦКБА 037	0,99
Узел затвора с уплотнением из фторопласта-4 и композиционных материалов на его основе (по СТ ЦКБА 055)	3000 циклов	0,999
Узел затвора с уплотнением из паронита и резины, с уплотнением «металл по металлу» (по СТ ЦКБА 068)	3000 циклов	0,99
Ходовые резьбовые пары (по СТ ЦКБА 060)	По таблицам 3 и 4 СТ ЦКБА 060	0,999
Пружины винтовые цилиндрические I класса (по СТ ЦКБА 030)	20000 циклов	0,999
Пружины винтовые цилиндрические II класса (по СТ ЦКБА 030):		
а) из сталей по ГОСТ 1050, ГОСТ 1435, 50ХФА и 60С2А ГОСТ 14959	20000 циклов	0,99
б) из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н7Г10АМ3-ПД, ХН70МВЮ-ВД, ХН77ТЮР, сплава марки ВТ16, БрКМц3-1, БрБ2 по ГОСТ 18175, Бр0Ц4-3	1000 циклов	
Сильфоны многослойные металлические (по СТ ЦКБА 083 на параметрах, указанных в таблице 2):		
а) при температуре до 100 °С включительно	3000 циклов	0,95
б) при температуре от 100 °С до 200 °С включительно	1000 циклов	
Сильфоны многослойные металлические (по ГОСТ Р 55019 на параметрах, указанных в таблице 2)	По таблицам 2, 4 - 7 ГОСТ Р 55019	0,98

Примечания
1) Интенсивность отказов (в 1/ч или 1/цикл), при необходимости, может быть определена исходя из указанного значения ВБР и устанавливаемого значения полного ресурса (в часах или циклах).
2) Значения ВБР узлов и деталей могут иметь и более высокие значения, в случае их определения (подтверждения) путем испытаний или оценки технологического процесса изготовления в соответствии с СТ ЦКБА 049.

Приложение В
(справочное)

Значения поправочных коэффициентов для интенсивности отказов

Таблица В.1 – Значения поправочного коэффициента β_1, учитывающего увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов

Наименование элементов и узлов	Поправочный коэффициент β_1
Резьбовое соединение Механическое соединение Поверхность трения Подшипник Шпоночное соединение Пружина возвратная Кулачковое соединение Зубчатая передача Магнит и электромагнит Катушка, клемма Штифтовое соединение Прочие элементы, работающие в наиболее тяжелом режиме	5
Клапанно-запорное устройство Сальниковая набивка Скользящее уплотнение (фторопласт) Мембрана Прокладка Крепежные детали	2
Корпус Маховик и рукоятка Узел крепления маховика и рукоятки Прочностные элементы, работающие в наиболее легком режиме	1

Таблица В.2 – Значения поправочного коэффициента β_2, учитывающего уменьшение интенсивности отказов ненагруженных элементов

Наименование элементов	Поправочный коэффициент $\beta_2 \times 10^{-3}$
Штепсельный разъем	1,00
Переключатель	1,00
Электродвигатель	0,28
Реле	1,00
Механический, гидравлический и пневматический элемент	1,00

Приложение Г
(рекомендуемое)

Таблицы для расчета ВБР элементов и узлов арматуры методами по 7.1, 7.2, 7.4

Т а б л и ц а Г.1 – Таблица для расчета ВБР методом по 7.1, 7.4

Наименование элементов и узлов	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$ 1/ч	Число элементов в *i*-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i=\lambda_{oi}\cdot m\cdot\beta_1\cdot10^{-6}$ 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t', ч	Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i=\beta_2\cdot\lambda'_i\cdot10^{-6}$ 1/ч	Время нахождения элемента в ненагруженном состоянии t'', ч	ВБР $P(t)$

Т а б л и ц а Г.2 – Таблица для расчета ВБР методом по 7.2

Обозначение элемента, узла по схеме	Наименование элемента, узла арматуры	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$ 1/ч	Число элементов *i*-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i=\lambda_{oi}\cdot m\cdot\beta_1\cdot10^{-6}$ 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t', ч	Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i=\beta_2\cdot\lambda'_i\cdot10^{-6}$ 1/ч	Время нахождения элемента в ненагруженном состоянии t'', ч	ВБР $P(t)$

Приложение Д
(рекомендуемое)

Таблицы для расчета ВБР элементов и узлов арматуры методом по 7.3

Т а б л и ц а Д.1 – Таблица для расчета ВБР (вероятности неразрушения) элементов и узлов арматуры методом по 7.3

Наименование детали и напряжения	Материал изготовления детали	Расчетное напряжение, M_{si}	Показатель прочности (предел текучести, предел прочности и др.) M_{ri}	Коэффициент запаса $\varphi_i = \frac{M_{ri}}{M_{si}}$	Коэффициент вариации прочности K_{ri}	Коэффициент вариации нагрузки K_{si}	Вероятность безотказной работы детали при i-ом напряжении $P_{1i} = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{K_n^2 \cdot \varphi_i^2 + K_n^2}}\right)$

Т а б л и ц а Д.2 – Таблица для расчета ВБР (вероятности невыхода параметров функционирования за допустимые границы) методом по 7.3

Параметр функционирования	Среднее значение параметра функционирования y_j	Ограничения параметра функционирования $\left\lfloor y^в, y^н \right\rfloor$	Коэффициент вариации параметра функционирования k_{yj}	Значения $X_j = \frac{y^в - y_j}{k_{yj} \cdot y_j}$ или $X_j = \frac{y_j - y^н}{k_{yj} \cdot y_j}$	Вероятность безотказной работы $P_{2j} = F(X_j)$

Приложение Е
(справочное)

Значения коэффициентов вариации для основных параметров функционирования и механических свойств конструкционных материалов

Таблица Е.1 – Значения коэффициентов вариации для основных параметров функционирования и механических свойств конструкционных материалов

№ п/п	Наименование параметра	Значения коэффициентов вариации (k_{ri}, k_{si}, k_{yj})		
		минимальное	среднее	максимально
1.	Гидравлическое сопротивление	0,06	0,12	0,25
2.	Время срабатывания	0,1	0,23	0,35
3.	Утечка в затворе	0,08	0,27	0,39
4.	Минимальное напряжение срабатывания	0,1	0,2	0,3
5.	Ток (напряжение) отпускания электромагнитного привода	0,02	0,04	0,07
6.	Минимальный ток (напряжение) срабатывания электромагнитного привода	0,01	0,04	0,07
7.	Потребляемая мощность электромагнитного привода	0,04	0,06	0,09
8.	Стабильность выходного давления регулятора давления	0,01	0,025	0,04
9.	Давление начала открытия клапана обратного	0,10	0,15	0,20
10.	Давление настройки предохранительного клапана	0,02	0,04	0,08
11.	Давление полного открытия клапана обратного, предохранительного	0,02	0,03	0,04
12.	Давление обратной посадки клапана предохранительного	0,03	0,05	0,07
13.	Коэффициент пропускной способности регулирующих клапанов	0,10	0,25	0,40
14.	Коэффициент расхода	0,08	0,18	0,32
15.	Усилие выпрессовки золотника	0,10	0,15	0,20
16.	Усилие состыковки разъемных элементов	0,02	0,03	0,04
17.	Предел прочности сталей	0,06	0,12	0,18
18.	Предел прочности титановых сплавов	0,02	0,04	0,06
19.	Предел прочности сплавов цветных металлов	0,042	0,12	0,21

Приложение Ж
(справочное)

Значения функции нормального распределения F(*x*)

Ж.1 Значения функции нормального распределения F(x) приведены в таблице Ж.1.
(Источник информации – [3])

Т а б л и ц а Ж.1 – Значения функции нормального распределения F(x)

Значение параметра функционирования *X* с точностью до десятых долей	Значения функции нормального распределения *F*(x) для значений параметра функционирования X с точностью до сотых долей									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,50000	0,50399	0,50798	0,51197	0,51595	0,51994	0,52392	0,52790	0,53188	0,53586
0,1	0,53983	0,54380	0,54776	0,55172	0,55567	0,55962	0,56356	0,56749	0,57142	0,57535
0,2	0,57926	0,58317	0,58706	0,59095	0,59483	0,59871	0,60257	0,60642	0,61026	0,61409
0,3	0,61791	0,62172	0,62552	0,62930	0,63307	0,63683	0,64058	0,64431	0,64803	0,65179
0,4	0,65542	0,65910	0,66276	0,66640	0,67003	0,67364	0,67724	0,68082	0,68439	0,63793
0,5	0,69146	0,69497	0,69847	0,70194	0,70540	0,70884	0,71226	0,71556	0,71904	0,72240
0,6	0,72575	0,72907	0,73237	0,73565	0,73891	0,74215	0,74537	0,74857	0,75175	0,75490
0,7	0,75804	0,76115	0,76424	0,76730	0,77035	0,77337	0,77637	0,77935	0,78230	0,78524
0,8	0,78814	0,79103	0,79389	0,79673	0,79955	0,80234	0,80511	0,80785	0,81057	0,81327
0,9	0,81594	0,81859	0,82121	0,82381	0,82639	0,82894	0,83147	0,83398	0,83646	0,83891

Продолжение таблицы Ж.1

Значение параметра функционирования X с точностью до десятых долей	Значения функции нормального распределения $F(x)$ для значений параметра функционирования X с точностью до сотых долей									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0.05	0,06	0,07	0,08	0,09
1,0	0,84134	0,84375	0,84614	0,84850	0,85083	0,85314	0,85543	0,85769	0,85993	0,86214
1,1	0,86433	0,86650	0,86864	0,87076	0.87286	0,87493	0,87698	0,87900	0,83100	0,88298
1,2	0,88493	0,88686	0.88877	0,89065	0,89251	0,89435	0,89617	0,89796	0,89973	0,90147
1,3	0,90320	0,90490	0,90658	0,90824	0,90988	0,91149	0,91309	0,91466	0,91621	0,91774
1,4	0,91924	0,92073	0,92220	0,92364	0,92507	0,92647	0,92786	0,92922	0,93056	0,93189
1,5	0,93319	0,93448	0.93574	0,93699	0,93822	0,93943	0.94062	0,94179	0,94295	0,94408
1,6	0,94520	0,94630	0,94738	0,94845	0,94950	0,95053	0,95154	0,95254	0,95352	0,95449
1,7	0,95543	0,95637	0,95728	0,95818	0,95907	0,95994	0,96080	0,96164	0,96246	0,96327
1.8	0,96407	0,96485	0,96562	0,96638	0,96712	0,96784	0,96857	0,96926	0,96995	0,97062
1,9	0,97128	0,97193	0,97257	0,97320	0,97381	0,97441	0,97500	0,97558	0,97615	0,97670
2,0	0,97725	0,97778	0,97831	0,97882	0,97932	0,97982	0,98030	0,98077	0,98124	0,98169
2,1	0,98214	0,98257	0,98300	0.98341	0,98382	0,98422	0,98461	0,98500	0,98537	0,98574
2,2	0,98610	0,98645	0,98679	0,98713	0,98745	0,98778	0,98809	0,98840	0,98870	0,98899
2,3	0,98928	0,98956	0,98983	0,990097	0,990358	0,990613	0,990863	0,991105	0,991344	0,991576
2,4	0,991803	0,992024	0,992240	0,992451	0,992656	0,992857	0,993056	0,993244	0,993431	0,993613

Продолжение таблицы Ж.1

Значение параметра функциони-рования X с точностью до десятых долей	Значения функции нормального распределения F(x) для значений параметра функционирования X с точностью до сотых долей									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,5	0,993790	0,993963	0,994132	0,994297	0,994457	0,994614	0,994766	0,994915	0,995060	0,995201
2,6	0,995339	0,995473	0,995604	0,995731	0,995855	0,995975	0,996093	0,996207	0,996319	0,996427
2,7	0,996533	0,996636	0,996736	0,996833	0,996928	0,997020	0,997110	0,997197	0,997282	0,997365
2,8	0,997445	0,997523	0,997599	0,997673	0,997744	0,997814	0,997882	0,997948	0,998012	0,998074
2,9	0,998134	0,998193	0,998250	0,998305	0,998359	0,998411	0,998462	0,998511	0,998559	0,998605
3,0	0,998650	0,998694	0,998736	0,998777	0,998817	0,998856	0,998893	0,998930	0,998965	0,998999
3,1	0,9990324	0,9990646	0,9990957	0,9991260	0,9991553	0,9991836	0,9992112	0,9992378	0,9992636	0,9992886
3,2	0,9993129	0,9993363	0,9993590	0,9993810	0,9994024	0,9994230	0,9994429	0,9994623	0,9994810	0,9994991
3,3	0,9995166	0,9995335	0,9995499	0,9995658	0,9995811	0,9995959	0,9996103	0,9996242	0,9996376	0,9996505
3,4	0,9996631	0,9996752	0,9996869	0,9996982	0,9997091	0,9997197	0,9997299	0,9997398	0,9997493	0,9997585
3,5	0,9997674	0,9997759	0,9997842	0,9997922	0,9997999	0,9998074	0,9998146	0,9998215	0,9998282	0,9998347
3,6	0,9998409	0,9998469	0,9998527	0,9998583	0,9998637	0,9998689	0,9998739	0,9998787	0,9998834	0,9998879
3,7	0,9998922	0,9998964	0,99990039	0,99990426	0,99990799	0,99991158	0,99991504	0,99991838	0,99992159	0,99992468
3,8	0,99992765	0,99993052	0,99993327	0,99993593	0,99993848	0,99994094	0,99994331	0,99994558	0,99994777	0,99994978
3,9	0,99995190	0,99995385	0,99995573	0,99995753	0,99995926	0,99996092	0,99996253	0,99996406	0,99996554	0,99996696

Продолжение таблицы Ж.1

Значение параметра функциони-рования X с точностью до десятых долей	Значения функции нормального распределения F(x) для значений параметра функционирования X с точностью до сотых долей									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
4,0	0,99996833	0,99996964	0,99997090	0,99997211	0,99997327	0,99997439	0,99997546	0,99997949	0,99997748	0,99997843
4,1	0,99997934	0,99998022	0,99998106	0,99998186	0,99998263	0,99998338	0,99998409	0,99998477	0,99998542	0,99998605
4,2	0,99993665	0,99998723	0,99998778	0,99998832	0,99998383	0,99993931	0,99998978	0,999990226	0,999990655	0,999991066
4,3	0,999991460	0,999991837	0,999992199	0,999992545	0,999992876	0,999993193	0,999993497	0,999993788	0,999994066	0,999994332
4,4	0,999994587	0,999994831	0,999995065	0,999995288	0,999995502	0,999995706	0,999995902	0,999996089	0,999996268	0,999996439
4,5	0,999996602	0,999996759	0,999996908	0,999997051	0,999997187	0,999997318	0,999997442	0,999997561	0,999997665	0,999997784
4,6	0,999997888	0,999997937	0,999998081	0,999998172	0,999998258	0,999998340	0,999998419	0,999998494	0,999998566	0,999998634
4,7	0,999998699	0,999998761	0,999998821	0,999998877	0,999998931	0,999998983	0,9999990320	0,9999990789	0,9999991235	0,9999991661
4,8	0,9999992067	0,9999992453	0,9999992822	0,9999993173	0,9999993503	0,9999993827	0,9999994131	0,9999994420	0,9999994696	0,9999994958
4,9	0,9999995208	0,9999995446	0,9999995673	0,9999995889	0,9999996094	0,9999996289	0,9999996475	0,9999996652	0,9999996821	0,9999996981

Окончание таблицы Ж.1

Значение параметра функциони-рования X с точностью до десятых долей	Значения функции нормального распределения F(x) для значений параметра функционирования X с точностью до сотых долей									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
5,0	0,9999997133	0,9999997288	0,9999997416	0,9999997548	0,9999997672	0,9999997791	0,9999997904	0,9999998011	0,9999998113	0,9999998210
5,1	0,9999998302	0,9999998389	0,9999998472	0,9999998551	0,9999998626	0,9999998698	0,9999998765	0,9999998830	0,9999998891	0,9999998949
5,2	0,99999990036	0,99999990558	0,99999991054	0,99999991524	0,99999991971	0,99999992395	0,99999992797	0,99999993179	0,99999993541	0,99999993884
5,3	0,99999994210	0,99999994519	0,99999994812	0,99999995089	0,99999995353	0,99999995602	0,99999995839	0,99999996063	0,99999996276	0,99999996477
5,4	0,99999996668	0,99999996849	0,99999997020	0,99999997182	0,99999997336	0,99999997482	0,99999997619	0,99999997750	0,99999997873	0,99999997990
5,5	0,99999998101	0,99999998206	0,99999998305	0,99999998399	0,99999998488	0,99999998572	0,99999998651	0,99999998726	0,99999998797	0,99999998865
5,6	0,99999998928	0,99999998988	0,99999999045	0,99999999099	0,99999999150	0,99999999198	0,99999999243	0,99999999286	0,99999999327	0,99999999365
5,7	0,99999999401	0,99999999435	0,99999999467	0,99999999498	0,99999999527	0,99999999554	0,99999999579	0,99999999604	0,99999999626	0,99999999648
5,8	0,99999999668	0,99999999688	0,99999999706	0,99999999723	0,99999999739	0,99999999754	0,99999999769	0,99999999782	0,99999999795	0,99999999807
5,9	0,99999999818	0,99999999829	0,99999999839	0,99999999849	0,99999999857	0,99999999866	0,99999999378	0,99999999881	0,99999999883	0,99999999396
6,0	0,99999999901	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение И
(рекомендуемое)

Примеры расчета показателей безотказности

(Примеры являются иллюстрационными, преследующими цель показать применение алгоритмов расчетов показателей безотказности)

Пример И.1. Расчет показателей безотказности структурным методом, с составлением структурной блок-схемы надёжности соединения элементов

Расчет выполнен для мембранного клапана с электромагнитным приводом, когда клапан состоит из узлов и деталей, информация о безотказности которых имеется.

1 Задача расчета

Определить вероятность безотказной работы клапана с электромагнитным приводом в течение срока службы 5 лет.

2 Исходные данные

Сборочный чертеж арматуры.

Наработка 100000 циклов при сроке службы 5 лет.

Время совершения одного цикла $t_ц$ = 10 с.

Время между циклами, в течение которого запорное устройство открыто t_o = 200 с.

Время работы ручного дублера $t_д$ = 420 ч.

Интенсивность отказов (ВБР) элементов - по данным заводов-изготовителей.

3 Основные допущения, принятые при расчете

3.1 Отказы элементов являются событиями случайными и независимыми.

3.2 Вероятность безотказной работы элементов определяется экспоненциальным законом.

3.3 Все элементы одного и того же типа равнонадежны, то есть интенсивность отказов однотипных элементов одинакова.

3.4 Из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа, то есть интенсивность отказов принимается постоянной.

3.5 При расчете учитываются только те элементы, выход из строя которых приводит к отказу всего изделия (арматуры).

4. Расчет показателей безотказности

4.1 Надежность элементов, находящихся непрерывно под нагрузкой, независимо от того, совершается рабочий цикл или нет, рассчитывается на срок, указанный в задании, то есть на время

$$t = 5 \text{ лет} \approx 43800 \text{ ч}$$

4.2 Надежность элементов, находящихся под нагрузкой в течение рабочего цикла, рассчитывается на полное время совершения общего числа циклов, указанных в задании (наработка), определяемое по формуле

$$t'_1 = T \times t_ц = 100000 \times 10 = 1000000 \text{ сек} \approx 280 \text{ ч},$$

где T- наработка;

$t_ц$ – время совершения одного цикла.

4.3 Надежность элементов, находящихся под нагрузкой в тот момент, когда запорное устройство открыто, рассчитывается на время, определяемое по формуле

$$t'_2 = T \times t_o = 100000 \times 200 = 20000000 \text{ сек} = 5560 \text{ час}$$

где t_o – время, в течение которого запорное устройство открыто.

4.4 Надежность элементов, находящихся под нагрузкой в тот момент, когда запорное устройство закрыто, рассчитывается на время t'_3 определяемое по формуле

$$t'_3 = t - t'_2 = 43800 - 5560 = 38240 \text{ ч}$$

4.5 Время работы ручного дублера $t_д$ = 420 ч.

4.6 При расчете учитываются только те элементы, выход из строя которых приводит к отказу арматуры.

4.7 Расчет проектной вероятности безотказной работы клапана проводится исходя из характеристики надежности – интенсивности отказов.

4.8 Интенсивность отказов работающего под нагрузкой элемента определяется по формуле

$$\lambda' = \beta_1 \cdot \lambda_0$$

где λ_0 - номинальная (справочная) интенсивность отказов элемента;

β_1- коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженного элемента.

4.9 Интенсивность отказов ненагруженного элемента определяется по формуле

$$\lambda'' = \beta_2 \cdot \lambda'$$

где β_2- поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов ненагруженного элемента – $\beta_2 = 1 \cdot 10^{-3}$

4.10 Вероятность безотказной работы элемента определяется по формуле:

а) для элементов, находящихся под нагрузкой в течение всего времени t

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} \lambda'_i \cdot m \cdot t}$$

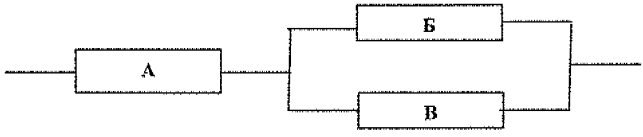
где m - число элементов i-го типа;

б) для элементов, находящихся под нагрузкой в течение времени t' и не находящихся под нагрузкой в течение t''

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m\left(\lambda'_i \cdot t' + \lambda''_i \cdot t''\right)}$$

где $t = t' + t''$.

4.11. Блок-схема надежности соединения узлов клапана будет иметь вид:



где А - узел клапана; Б - узел ручного дублера; В - узел электромагнитного привода.

4.12. Вероятность безотказной работы арматуры определяется по формуле

$$P(t) = P_A\left[1 - (1 - P_Б)(1 - P_B)\right],$$

где P_A, $P_Б$, P_B- вероятность безотказной работы узлов А,Б,В соответственно.

4.13 Для расчета вероятности безотказной работы заполняется таблица И.1.

Т а б л и ц а И.1 – Таблица для расчета ВБР элементов и узлов клапана

Наименование элементов и узлов	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	зотказной й коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i=\beta_1\cdot m\cdot\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$ 1/ ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t', ч	Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i=\beta_2\cdot\lambda'_i\cdot10^{-9}$ 1/ ч	Время нахождения элемента в ненагруженном состоянии t'', ч
А – Узел клапана								
1. Корпус стальной	P(10 лет)=0,9995				P(5 лет)=0,99974			-
2. Резьбовое соединение «гайка-золотник»	0,09	1	5	0,45	43800	$1\cdot10^{-3}$	0,45	
3. Прокладка	0,0096	2	1	0,0192	43800	$1\cdot10^{-3}$	0,0192	-
4. Узел затвора	0,13	1	2	0,26	5560	$1\cdot10^{-3}$	0,26	38240
5.Поверхность трения «корпус-направляющая»	0,072	1	5	0,360	280	$1\cdot10^{-3}$	0,360	43520
Б – Узел ручного дублера								
1. Резьбовое соединение «корпус-винт аварийный»	0,09	1	5	0,45	420	$1\cdot10^{-3}$	0,45	43380
2. Поверхность трения корпус-кольцо	0,042	1	5	0,36	420	$1\cdot10^{-3}$	0,36	43380
3. Механическое соединение «винт-корпус»	0,086	1	5	0,43	420	$1\cdot10^{-3}$	0,43	43380
4. Кольцо (уплотнение) скользящее	0,22	1	1	0,22	43800	$1\cdot10^{-3}$	0,22	-
5. Прокладка	0,0056	1	1	0,0056	43800	$1\cdot10^{-3}$	0,0056	-

Окончание таблицы И.1

Наименование элементов и узлов	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi} \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправочный коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i = \beta_1 \cdot m \cdot \lambda_{oi} \cdot 10^{-6}$ 1/ ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t', ч	Поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов для ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i = \beta_2 \cdot \lambda'_i \cdot 10^{-9}$ 1/ ч	Время нахождения элемента в ненагруженном состоянии t'', ч
В – Узел электромагнитного привода								
1. Уплотнение ввода	P (10лет) = 0,999				P (5 лет) = 0,9995			
2. Уплотнит. прокладка	0,0056	3	2	0,0336	43800		0,0336	-
3. Катушка	0,014	1	5	0,070	5560		0,070	38240
4. Клеммы	0,004	2	5	0,040	5560		0,040	38240
5. Пружина	P (10 лет)=0,9998				P (5 лет) = 0,9999			
6. Уплотнение	0,072	1	1	0,27	38240		0,27	5560
7. Поверхность трения «сердечник-трубка» в сборе	0,072	1	5	0,360	280		0,360	43520

4.14 Вероятность безотказной работы элементов, работающих в течение времени t = 43800 ч, определяется по формулам:

а) для узла А

$$P_{1A}(t) = e^{-43800\ (0,45+0,0192)\cdot 10^{-6}} = 0,97966$$

б) для узла Б

$$P_{1B} = e^{-\sum_{i=1}^{2}\lambda_i'\cdot m\cdot t} = e^{-43800(0,22+0,0056)10^{-6}} = 0,99067$$

в) для узла В

$$P_{1B}(t) = e^{-\sum_{i}^{k}\lambda_i'\cdot m\cdot t} = e^{43800(0,0056)10^{-6}} = 0,99975$$

4.15 Вероятность безотказной работы элементов, работающих в течение времени t'_1= 280 ч определяется по формулам:

а) для узла А

$$P_{2A}(t_1') = e^{-\sum_{i}^{k}\lambda_i'\cdot m\cdot t_1'} = e^{-280(0,36)10^{-6}} = 0,99989$$

б) для узла В

$$P_{2B}(t_1') = e^{-\sum_{i}^{k}\lambda_i'\cdot m\cdot t_1'} = e^{-280(0,36)10^{-6}} = 0,99989$$

4.16 Вероятность безотказной работы элементов, нагруженных в течение времени t'_2=5560 ч определяется по формулам:

а) для узла А

$$P_{3A} = e^{-\sum_{i}^{k}\lambda_i'\cdot m\cdot t_2'} = e^{-5560\cdot 0,26\cdot 10^{-6}} = 0,99855$$

б) для узла В

$$P_{3B}(t_2') = e^{-\sum_{i}^{k}\lambda_i'\cdot m\cdot t_2'} = e^{-5560\cdot(0,07+0,04)10^{-6}} = 0,99938$$

4.17 Вероятность безотказной работы элементов, загруженных в течение времени t'_3=38240 ч определяется по формуле для узла В

$$P_{3B}(t_3') = e^{-\lambda_i'\cdot m\cdot t_3'} = e^{38240\cdot 0,27\cdot 10^{-6}} = 0,98972$$

4.18 Вероятность безотказной работы элементов, работающих в течение времени $t_4 = t_Д$ = 420 ч, определяется по формуле для узла Б

$$P_{5Б}(t_4') = e^{-\sum_{i=1}^{3}\lambda_i'\cdot m\cdot t_4'} = e^{-420\cdot(0,45+0,36+0,43)10^{-6}} = 0,99947$$

4.19 Вероятность безотказной работы элементов, ненагруженных в течение времени t''_1= 43800 - 280 = 43520 ч определяется по формулам:

а) для узла А

$$P_{6A} = e^{-\lambda_1^* \cdot m \cdot t_1^*} = e^{-43520 \cdot 0,36 \cdot 10^{-9}} = 0,99998$$

б) для узла В

$$P_{6B} = e^{-\lambda_1^* \cdot m \cdot t_1^*} = e^{-43520 \cdot 0,36 \cdot 10^{-9}} = 0,99998$$

4.20 Вероятность безотказной работы элементов ненагруженных в течение времени t''_2= 43800 - 5560 = 38240 ч, определяется по формулам:

а) для узла А

$$P_{7A} = e^{-\lambda_i^* \cdot m \cdot t_2^*} = e^{-38240 \cdot 0,26 \cdot 10^{-9}} = 0,99999$$

б) для узла В

$$P_{7B} = e^{-\sum_{i=1}^{2} \lambda_i^* \cdot m \cdot t_2^*} = e^{-38240 \cdot (0,07+0,04) \cdot 10^{-9}} = 0,99999$$

4.21 Вероятность безотказной работы элементов, ненагруженных в течение времени t'_3= 43800 - 38240 = 5560 ч, определяется по формуле

$$P_{8B} = e^{-\lambda_i^* \cdot m \cdot t_3^*} = e^{-5560 \cdot 0,27 \cdot 10^{-9}} = 0,99999$$

4.22 Вероятность безотказной работы элементов, не работающих в течение времени t''_4= 43800-420 = 43380 ч, определяются по формуле

$$P_{9B} = e^{-\sum_{i=1}^{3} \lambda_i^* \cdot m \cdot t_4^*} = e^{-43380 \cdot (0,45+0,36+0,43) \cdot 10^{-9}} = 0,99994$$

4.23 Вероятность безотказной работы корпуса Pк, уплотнения ввода PуВ и пружины $P_п$ определяются по формуле

$$P(t) = e^{\left[\ln P(t^*)\right] \frac{t}{t^*}}$$

Подставляя в формулу количественные значения, получим:

$$P_к(t) = e^{\ln 0,9995 \cdot \frac{5}{10}} = 0,99974$$

$$P_{уВ} = e^{\ln 0,999 \cdot \frac{5}{10}} = 0,99950$$

$$P_П = e^{\ln 0,9998 \cdot \frac{5}{10}} = 0,99990$$

4.24 Вероятность безотказной работы узла А определяется по формуле

$$P_A = P_{1A} \cdot P_{2A} \cdot P_{3A} \cdot P_{6A} \cdot P_{7A} \cdot P_K = 0{,}97966 \cdot 0{,}99989 \cdot 0{,}99855 \times$$
$$\times 0{,}99998 \cdot 0{,}99999 \cdot 0{,}99974 = 0{,}97784$$

4.25 Вероятность безотказной работы узла Б определяется по формуле

$$P_Б = P_{1Б} \cdot P_{5Б} \cdot P_{9Б} = 0{,}99067 \cdot 0{,}99947 \cdot 0{,}9994 = 0{,}99008$$

4.26 Вероятность безотказной работы узла В определяется по формуле

$$P_B = P_{1B} \cdot P_{2B} \cdot P_{3B} \cdot P_{4B} \cdot P_{6B} \cdot P_{7B} \cdot P_{8B} \cdot P_{уВ} \cdot P_П = 0{,}99975 \cdot 0{,}99989 \cdot 0{,}99938 \times$$
$$\times 0{,}98972 \cdot 0{,}99998 \cdot 0{,}99999 \cdot 0{,}99950 \cdot 0{,}99990 = 0{,}98812$$

4.27 Вероятность безотказной работы арматуры в целом определяется по формуле

$$P(t) = P_A\left[1-(1-P_Б)(1-P_B)\right] = 0{,}97784 \cdot \left[1-(1-0{,}99008)(1-0{,}98812)\right] = 0{,}97772$$

5. Заключение

Расчетная вероятность безотказной работы мембранного клапана с электромагнитным приводом в течение наработки 100000 циклов при сроке службы 5 лет составляет не менее 0,97.

Расчет является ориентировочным и должен быть уточнен последующими испытаниями на надежность или сбором статистических данных о надежности арматуры в процессе эксплуатации.

Пример И.2 Расчет показателей безотказности по критериям отказов

Расчет выполнен для клапана отсечного углового «НЗ» с электроприводом по критериям отказов, когда клапан состоит из узлов и деталей, информация о надежности которых имеется.

1 Задача расчета

Определить вероятность безотказной работы клапана в течение назначенного ресурса за 30000 ч (500 циклов).

2 Исходные данные

2.1 Возможные отказы клапана:

- негерметичность относительно внешней среды;
- негерметичность затвора;
- самопроизвольное закрытие;
- самопроизвольное открытие;
- отсутствие рабочих перемещений.

2.2 Назначенный ресурс за период 4 года (30000 ч) - T = 500 циклов.

2.3 Клапан открыт ~50% t ≈15000 ч.

2.4 Время совершения цикла 0,5 с.

2.5 Интенсивности отказов (ВБР) элементов - по данным заводов-изготовителей.

3 Основные допущения, принятые при расчете

3.1 Отказы элементов являются событиями случайными и независимыми.

3.2 Вероятность безотказной работы элементов арматуры определяется экспоненциальным законом распределения.

3.3 Все элементы одного и того же типа имеют равную интенсивность отказов.

3.4 Из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа, т.е. интенсивность отказов принимается постоянной.

3.5 При расчете учитываются только те элементы, выход из строя которых приводит к отказу клапана.

4 Расчет показателей безотказности

4.1 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся непрерывно под нагрузкой, рассчитывается на время

$$t = 30000 \text{ ч (500 циклов)}$$

4.2. Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой в течение времени совершения циклов, определяется на время

$$t'_1 = T \times t_ц = 500 \times 0,5 = 250 \text{ сек} \approx 0,07 \text{ ч}$$

4.3. Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой, когда клапан открыт, рассчитывается на время

$$t'_2 = 15000 \text{ ч}$$

4.4 Вероятность безотказной работы элементов, находящихся под нагрузкой, когда клапан закрыт, рассчитывается на время

$$t'_3 = 30000 \text{ ч} - 15000 \text{ ч} = 15000 \text{ ч}.$$

4.5 Вероятность безотказной работы ненагруженных элементов рассчитывается на время:

$$t''_1 = t - t'_1 = 30000 - 0,07 = 29999,93 \text{ ч}$$

$$t''_2 = t - t'_2 = 15000 \text{ ч}$$

$$t''_3 = t - t'_3 = 15000 \text{ ч}$$

4.6 Интенсивность отказов нагруженного элемента определяется по формуле

$$\lambda' = \beta_1 \cdot \lambda_0$$

где λ_0 - интенсивность отказов нагруженного элемента;

β_1 - коэффициент, учитывающий увеличение интенсивности отказов нагруженного элемента.

4.7 Интенсивность отказов ненагруженного элемента определяется по формуле

$$\lambda^{*} = \beta_2 \cdot \lambda^{'}$$

где β_2 - поправочный коэффициент, учитывающий уменьшение интенсивности отказов ненагруженного элемента.

4.8 Вероятность безотказной работы ($P\,ij$) элемента определяется по формуле

$$P_{ij}(t) = e^{-\left(\lambda^{'}_{ij} \cdot t^{'} + \lambda^{n}_{ij} \cdot t^{''}\right)}$$

или по формуле

$$P_{ij}(t) = e^{\frac{t}{t^{*}} \ln P_{ij}(t^{*})},$$

если исходной информацией о надежности элемента является вероятность безотказной работы элемента в течение периода t^{*}.

4.9 Строим схему отказов клапана отсечного (рисунок И.1) и заполняем таблицу И.2.

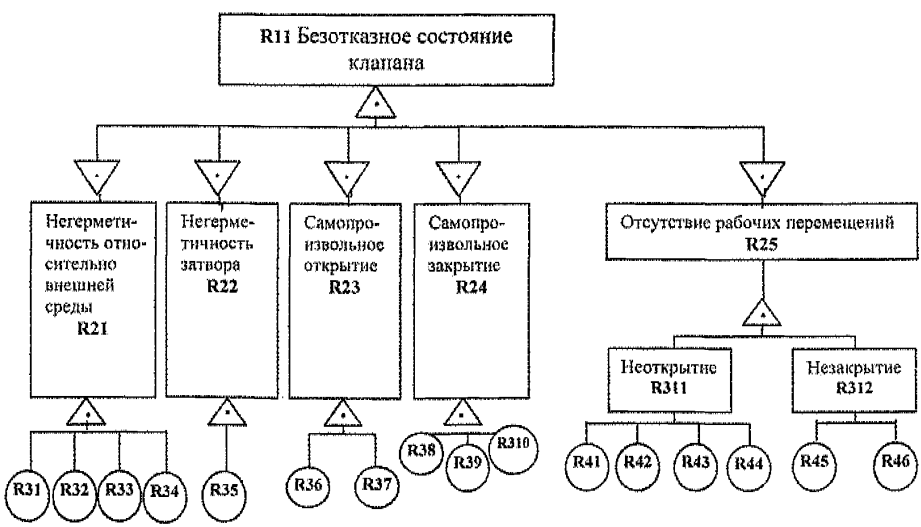


Рисунок И.1 Схема отказов клапана

Т а б л и ц а И.2 – Таблица для расчета ВБР элементов и узлов клапана

Обозначение на схеме	Наименование элемента, узла арматуры	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправ. коэф-т, увеличения интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i=\lambda_{oi}\cdot m\cdot\beta_1\cdot10^{-6}$, 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t'_1, ч	Поправ. коэф-т, уменьшения интенсивности отказов ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i=\beta_2\cdot\lambda_{oi}\cdot10^{-9}$, 1/ч	Время нахождения элемента без нагрузки t'', ч	ВБР $P(t)$
R_{41}	Сильфон 125-8-0,3х6 38-12-0,2х4	$P_1(1500)=0,98$ $P_2(1500)=0,98$								$P_1(500)=\exp[(500/1500)\ln0.98]=0.99328$ $P_2(500)=0,99328$ $P_{41}=0,9866$
R_{42}	Сварное соединение	0,025	2	5	0,125	0,07	$1*10^{-3}$	0,125	29999,93	$P_{42}=\exp[-2\cdot(0,125\cdot10^{-6}\cdot0,07+0,125\cdot10^{-9}\cdot29999,93)]=0,9999$
R_{43}	Резьбовое соединение	0,02	1	5	0,100	0,07	$1*10^{-3}$	0,1	29999,93	$P_{43}=\exp[-(0,1\cdot10^{-6}\cdot0,07+0,1\cdot10^{-9}\cdot29999,93)]=0,9999$
R_{44}	Пара трения: шток-втулка; втулка-стойка, корпус-золотник	0,52	3	5	2,6	0,07	$1*10^{-3}$	2,6	29999,93	$P_{44}=\exp[-3(2.6\cdot10^{-6}\cdot0,07+2,6\cdot10^{-9}\cdot29999,93)]=0,9999$
R_{45}	Электропривод	P (30000 час) = 0,98								$P_{45}=0,98$
R_{46}	Пара трения: шток-втулка, втулка-стойка, корпус-золотник	0,52	3	5	2,6	0,07	$1*10^{-3}$	2,6	29999.93	$P_{46}=\exp[-3(2,6\cdot10^{-6}\cdot0,07+2,6\cdot10^{-9}\cdot29999,93)]=0,9999$
R_{31}	Сварное соединен.: втулка-корпус, сильфон-кольцо – втулка; золотник-сильфон	0,025	3	5	0,125	30000			-	P_{31}=(30000 час)= $\exp[-3(0,125\cdot10^{-6}\cdot30000)]=0,9888$
R_{32}	Сильфон	P(1500 ц)= 0,98								$P_{32}(500)=\exp((500/1500)\ln0,98)=0,99328$
R_{33}	Корпус	P(10 лет)=0,9995								$P_{33}(4)=\exp[(4/10)\ln0,9995]=0,9998$

Окончание таблицы И.2

Обозначение на схеме	Наименование элемента, узла арматуры	Среднестатистическая интенсивность отказов элемента за период эксплуатации $\lambda_{oi}\cdot10^{-6}$, 1/ч	Число элементов i-го типа в группе элементов или в арматуре m	Поправ. коэф-т, увеличения интенсивности отказов нагруженных элементов β_1	Интенсивность отказов элемента, находящегося под нагрузкой $\lambda'_i=\lambda_{oi}\cdot m\cdot\beta_1\cdot10^{-6}$, 1/ч	Время нахождения элемента под нагрузкой t'_1, ч	Поправ. коэф-т, уменьшения интенсивности отказов ненагруженного элемента β_2	Интенсивность отказов элемента, не находящегося под нагрузкой $\lambda''_i=\beta_2\cdot\lambda_{oi}\cdot10^{-9}$, 1/ч	Время нахождения элемента без нагрузки t'', ч	ВБР $P(t)$
R_{34}	Резьбовые соединения: шпилька-гайка, шпилька-цилиндр	0,02	2	5	0,1	30000			-	$P_{34}(30000)=\exp[-2\cdot0,1\cdot10^{-5}\cdot30000]=0,9940$
R_{35}	Узел затвора	$P(3000)=0,999$								$P_{35}=\exp[(500/3000)\ln0,999]=0,9998$
R_{36}	Сильфон	$P(1500\text{ ц})=0,98$								$P_{36}=\exp[(500/1500)\ln0,98]=0,99328$
R_{37}	Сварное соединение: сильфон-кольцо-втулка; цилиндр-втулка	0,025	2	5	0,125	15000	$0,1\cdot10^{-3}$	0,125	15000	$P_{37}=\exp[2(0,125\cdot10^{-6}\cdot15000+0,125\cdot10^{-9}\cdot15000)]=0,9962$
R_{38}	Сильфон 125-8-0,32х6 38-12-0,2х4	$P_1(1500\text{ц})=0,98$ $P_2(1500\text{ц})=0,98$								$P_{38}=\exp[(500/1500)\ln0,98]^2=(0,99328)^2=0,9866$
R_{39}	Сварное соединение: сильфон-кольца-втулка;сильфон-шток; сильфон-кольцо-цилиндр; цилиндр-втулка	0,025	4	5	0,125	15000	$0,1\cdot10^{-3}$	0,125	15000	$P_{39}=\exp[-4(0,125\cdot10^{-6}\cdot15000+0,125\cdot10^{-9}\cdot15000)]=0,9925$
R_{310}	Резьбовое соединение: шток-втулка	0,02	1	5	0,1	15000	$0,1\cdot10^{-3}$	0,1	15000	$P_{310}=\exp[-(0,125\cdot10^{-6}\cdot15000+0,125\cdot10^{-9}\cdot15000)]=0,9981$

Определение вероятности безотказной работы по видам отказа:

- "неоткрытие"

$$P_{311} = P_{41} \cdot P_{42} \cdot P_{43} \cdot P_{44} = 0.9866 \cdot 0.9999 \cdot 0.9999 \cdot 0.9999 = 0.9863$$

- "незакрытие"

$$P_{312} = P_{45} \cdot P_{46} = 0.98 \cdot 0.9999 = 0.9799$$

- негерметичность относительно внешней среды

$$P_{21} = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{34} = 0.9888 \cdot 0.9932 \cdot 0.9998 \cdot 0.9940 = 0.9759$$

- негерметичность в затворе

$$P_{22} = P_{35} = 0.9998$$

- самопроизвольное открытие

$$P_{23} = P_{36} \cdot P_{37} = 0.9932 \cdot 0.9962 = 0.9894$$

- самопроизвольное закрытие

$$P_{24} = P_{38} \cdot P_{39} \cdot P_{310} = 0.9866 \cdot 0.9925 \cdot 0.9981 = 0.9773$$

- отсутствие рабочих перемещений

$$P_{25} = P_{311} \cdot P_{312} = 0.9863 \cdot 0.9799 = 0.9665$$

Вероятность безотказной работы клапана отсечного углового «НЗ» с электроприводом в течение назначенного ресурса за 4 года (30000 часов) 500 циклов определим по формуле

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

$$P_{11}(t) = \prod_{j=1}^{5} P_{2j}(30000) = 0{,}9759 \cdot 0{,}9998 \cdot 0{,}9894 \cdot 0{,}9773 \cdot 0{,}9665 = 0{,}9118$$

5 Заключение

Расчетная вероятность безотказной работы клапана отсечного углового «НЗ» с электроприводом в течение назначенного ресурса за 4 года (30000 час) (500 циклов) составляет не менее 0,9.

Расчет является ориентировочным и должен быть уточнен последующими испытаниями на надежность или сбором статистических данных о надежности клапана в процессе эксплуатации.

Пример И.3. Расчет вероятности безотказной работы по прочности, нагрузке и параметрам применения

Расчет выполнен для задвижки шиберной, когда задвижка состоит из узлов и деталей, информация о надежности которых отсутствует, известны параметры нагрузки и механические свойства материалов.

1 Задача расчета

Определить вероятность безотказной работы задвижки шиберной в течение назначенного ресурса 1500 циклов.

2 Исходные данные

Исходные данные о параметрах нагрузки и механических свойствах материалов для расчета выбираются из:

- технических условий ТУ 3741-224-34390194-2009;
- конструкторской документации на задвижку;
- силового и прочностного расчета задвижки;
- справочной информации о коэффициентах вариации параметров нагрузки и механических свойствах материалов, применяемых в конструкции задвижки (по приложению Е).

3 Основные допущения, принятые при расчете

3.1 Отказы элементов задвижки являются событиями случайными и независимыми.

3.2 Распределение значений параметров работоспособности задвижки и механических свойств конструкционных материалов подчиняются нормальному закону распределения отказов.

3.3 При расчете ВБР по определенному отказу учитываются только те элементы, выход из строя которых приводит к этому отказу.

3.4 Расчет выполнен в соответствие с требованиями ГОСТ 27.310 и настоящего стандарта

4 Алгоритм расчета

4.1 Для спроектированной задвижки идентифицируются возможные отказы и определяются детали и узлы, определяющие данный вид отказа.

4.2 Расчет ВБР задвижки производится, исходя из расчета ВБР ее деталей и узлов, по прочности, нагрузке и параметрам функционирования.

Общий вид задвижки представлен на рисунке 1.

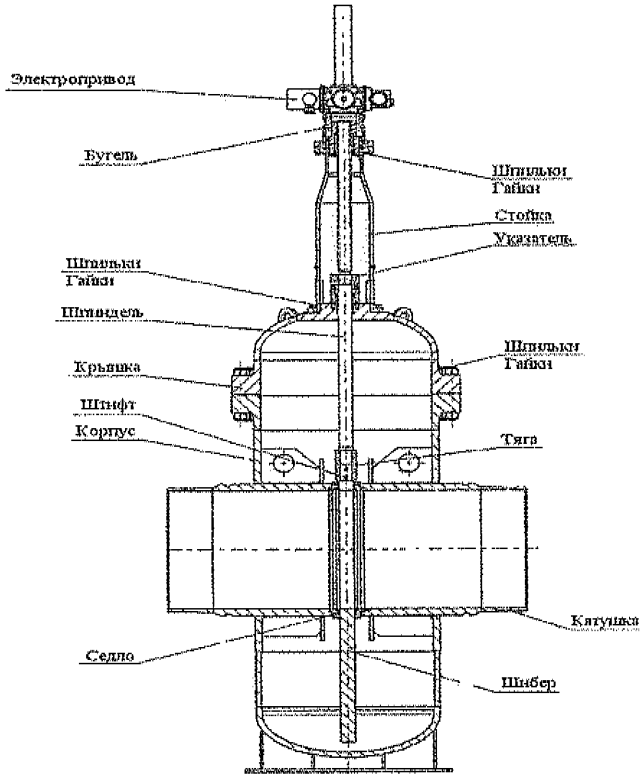
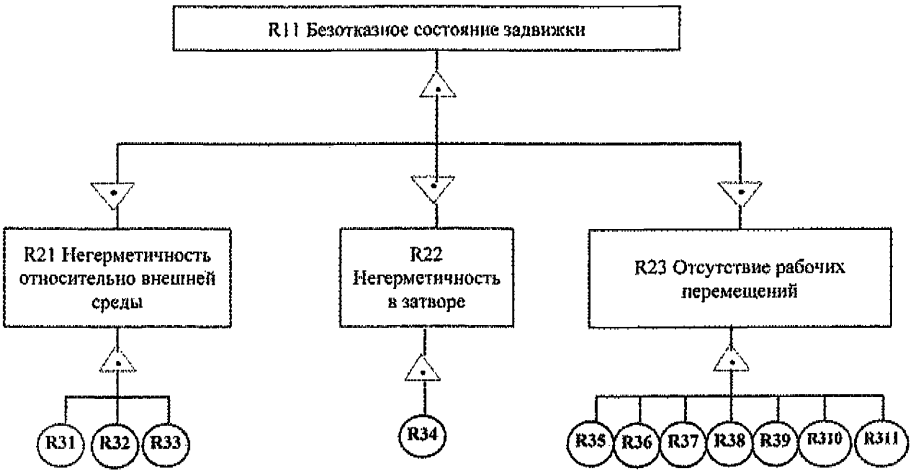


Рисунок 1 – Общий вид задвижки шиберной

4.3 Расчет ВБР задвижки производится исходя из возможных ее отказов. Возможными отказами задвижки могут являться:

- потеря герметичности по отношению к внешней среде по корпусным деталям;
- потеря герметичности по отношению к внешней среде по сальниковому уплотнению;
- потеря герметичности по отношению к внешней среде по неподвижным соединениям;
- потеря герметичности затвора (наличие видимых утечек в затворе);
- невыполнение функции «закрытие»;
- невыполнение функции «открытие»;
- непредусмотренное регламентом выполнение функции «открытие-закрытие»;
- несоответствие времени срабатывания (открытие, закрытие), указанному в КД.

Схема отказов задвижки представлена на рисунке 2.



Где **R21 – Негерметичность относительно внешней среды:**
R31 – Корпусные детали (корпус, крышка, катушка) задвижки;
R32 – Сальник;
R33 – Фланцевое соединение «корпус-крышка»;
R22 – Негерметичность затвора:
R34 – Узел затвора с уплотнением «металл по металлу»;
R23 – Отсутствие рабочих перемещений:
R35 – Шпиндель;
R36 – Штифтовое соединение «шпиндель-тяга»;
R37 – Соединение «тяга-шибер»;
R38 – Бугельный узел;
R39 – Фланцевое соединение «стойка-бугель»;
R310 – Фланцевое соединение «крышка-стойка»;
R311 – Электропривод.

Рисунок 2 – Схема отказов задвижки ЦКБ У18505-1000

4.4 ВБР задвижки определяется по формуле

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t), \quad (1)$$

где P_1 – вероятность неразрушения задвижки;

P_2 – вероятность невыхода значений параметров работоспособности задвижки за допустимые границы.

4.5 Вероятность неразрушения задвижки P_1 определяется как:

$$P_1(t) = min_i P_{1i}(t), \quad (2)$$

где P_{1i} – вероятность неразрушения детали (узла) при действии i-й нагрузки.

4.6 Вероятность P_{1i} для деталей рассчитывается с помощью модели не превышения типа «нагрузка-прочность» по формуле

$$P_{1i}(t) = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{k_{Ri}^2 \cdot \varphi_i^2 + k_{Si}^2}}\right), \quad (3)$$

где $F(\ldots)$ – функция нормального закона распределения;

$\varphi_i = \frac{M_{Ri}}{M_{Si}}$ – коэффициент запаса прочности,

где: M_{Ri} и M_{Si} – ожидаемые средние значения показателей прочности (принимается значение величины предела текучести металла $R_{p0,2}$) и нагрузки (максимальное напряжение в расчетном сечении детали);

k_{Ri} (принимается равным 0,06) и k_{Si} (принимается равным 0,2) – коэффициенты вариации величин M_{Ri} и M_{Si} соответственно.

4.7 Когда разрушение происходит за счет взаимного механического воздействия деталей узла, вероятность P_{1i} неразрушения узла определяется как произведение вероятностей неразрушения деталей по формуле

$$P_{1iузла}(t) = \prod_{j=1}^{n} P_{1ij}(t), \quad (4)$$

где: P_{1ij} – вероятность неразрушения j-й детали узла при действии i-й нагрузки, определяемая по формуле (3).

Когда разрушение происходит без взаимного механического воздействия деталей узла, вероятность P_{1i} неразрушения узла определяется по формуле

$$P_{1iузла}(t) = min \;\; P_{1ij}(t) \quad (5)$$

5 Расчет ВБР задвижки

5.1 Расчет ВБР корпусных деталей задвижки

5.1.1 Оценка конструктивного исполнения корпусных деталей

5.1.1.1 Материалы корпусных деталей (корпус, крышка, катушка) – 20ГМЛ (для литой задвижки) выбраны в соответствии с требованиями СТ ЦКБА 005.1 к материалам для изготовления корпусных деталей арматуры, эксплуатируемой в макроклиматическом районе с холодным климатом.

5.1.1.2 Конструкция, размеры и требования при изготовлении корпусных деталей представлены в конструкторской документации и технических условиях.

5.1.1.3 В соответствие с результатами силового и прочностного расчетов ЦКБ У18505-1000 РР:

- минимальные толщины стенок во всех расчетных сечениях корпусных деталей задвижки (штампосварной и литой) рассчитаны по верифицированным методикам и удовлетворяют условиям прочности; принятые толщины стенок более минимальных расчетных значений;

- оценка статической прочности показала, что расчетные приведенные напряжения во всех частях корпусных деталей задвижки (штампосварной и литой) менее величин допускаемых напряжений, что удовлетворяет условию прочности.

5.1.1.4 Методы и объем неразрушающего контроля металла корпусных деталей представлены в конструкторской документации. Неразрушающий контроль проводится в соответствие с утвержденной «Программой и методикой неразрушающего контроля...».

5.1.1.5 Сварка проводится в соответствие с СТ ЦКБА 025.

5.1.1.6 Требования к контролю качества сварных швов приведены в сборочных чертежах корпусных деталей задвижки (штампосварной и литой).

5.1.2 Расчет ВБР корпусных деталей

Для стали 20ГМЛ предел текучести $R_{p0,2}$=300 МПа.

Корпус

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение величины общего мембранного напряжения в патрубке корпуса: σ_m=127 МПа.

$$\varphi_{корп.л} = \frac{300}{127} = 2{,}36$$

$$P_{1корп.л} = F\left(\frac{2{,}36-1}{\sqrt{0{,}06^2*2{,}36^2+0{,}2^2}}\right) = F(5{,}56) = 0{,}9999.$$

Крышка

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение величины общего мембранного напряжения в сферической части крышки в направлении оси Z: σ_m=140 МПа.

$$\varphi_{кр.л} = \frac{300}{140} = 2{,}14$$

$$P_{1кр.л} = F\left(\frac{2{,}14-1}{\sqrt{0{,}06^2*2{,}14^2+0{,}2^2}}\right) = F(4{,}80) = 0{,}9999.$$

ВБР корпусных деталей

$$P_{1кд.шс} = min\left(P_{1корп.л}; P_{1кр.л}\right) = 0{,}9999.$$

Таким образом, при выполнении всех требований ТУ и конструкторской документации расчетное значение **ВБР корпусных деталей задвижки** оценивается величиной не менее **0,9999**.

5.2 Сальниковый узел

5.2.1 Оценка конструктивного исполнения

5.2.1.1 Материалы втулок, фланца и крепежных деталей сальникового узла выбраны в соответствие с требованиями СТ ЦКБА 005.1.

5.2.1.2 Конструкция, размеры и требования при изготовлении и монтаже сальникового узла задвижки – в соответствие с конструкторской документацией и требованиями СТ ЦКБА 037.

5.2.1.3 В п. 16 ЦКБ У18505-1000 РР выполнен расчет сальника на статическую прочность, который включал в себя:

- определение усилия затяжки шпильки сальника;
- определение усилия и крутящего момента затяжки гайки сальника;
- проверку прочности фланца сальника;
- проверку прочности шпилек и гаек.

Результат расчетов показал, что конструкция сальникового узла соответствует условию прочности.

5.2.2 Расчет ВБР сальникового узла

Фланец сальника

Для стали 40ХН2МА предел текучести $R_{p0,2}$=640 МПа.

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение величины приведенного напряжения: σ_i=259,4 МПа.

$$\varphi_{фл.сал.} = \frac{640}{259,4} = 2,47$$

$$P_{1фл.сал} = F\left(\frac{2,47-1}{\sqrt{0,06^2+2,47^2+0,2^2}}\right) = F(5,89) = 0,9999.$$

Крепежные детали (шпильки и гайки) сальникового узла

Для стали 20ХН3А предел текучести $R_{p0,2}$=637 МПа.

Результаты расчета на прочность шпильки сальника и проверки прочности резьбы (16.3 ЦКБ У18505-1000 РР) показали значительное превышение величины предела текучести стали 20ХН3А над расчетными значениями напряжений.

ВБР крепежных деталей сальникового узла оценивается величиной близкой к единице ($P_{1кр.дет.сал}$=0,9999).

ВБР сальникового узла

$$P_{1сальник} = min\left(P_{1фл.сал}; P_{1кр.дет.сал}\right) = 0,9999.$$

Таким образом, при выполнении всех требований ТУ и конструкторской документации расчетное значение **ВБР сальникового узла задвижки** оценивается величиной не менее **0,9999**.

5.3.Фланцевое соединение «корпус-крышка»

5.3.1 Оценка конструктивного исполнения

5.3.1.1 Материалы крепежных деталей фланцевого соединения «корпус-крышка» выбраны в соответствие с требованиями СТ ЦКБА 005.1.

5.3.1.2 Конструкция и размеры фланцевого соединения «корпус-крышка» – в соответствие с конструкторской документацией.

5.3.1.3 В соответствие с п. 6 ЦКБ У18505-1000 РР расчет фланцевого соединения «корпус-крышка» включает в себя:

- расчет усилия в шпильках соединения (силовой расчет);

- расчет крутящего момента на ключе при затяжке;
- проверку прочности фланца корпуса задвижки;
- проверку прочности шпилек.

Результат расчетов показал, что:

- параметры крепежных деталей соответствуют условию прочности;
- конструкция фланца корпуса задвижки соответствует условию прочности.

5.3.1.4 Крутящий момент затяжки гаек – в соответствие с расчетом ЦКБ У18505-1000 РР и сборочным чертежом задвижки.

5.3.1.5 Контроль параллельности фланцев – в соответствие со сборочным чертежом задвижки.

5.3.2 Расчет ВБР фланцевого соединения

Фланец корпуса

Для стали 20ГМЛ предел текучести $R_{p0,2}$=300 МПа.

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение величины общего мембранного напряжения в конической части фланца в направлении оси Z: σ_m=122 МПа.

$$\varphi_{фл.л} = \frac{300}{122} = 2{,}46$$

$$P_{1фл.л} = F\left(\frac{2{,}46-1}{\sqrt{0{,}06^2*2{,}46^2+0{,}2^2}}\right) = F(5{,}87) = 0{,}9999.$$

В соответствие с выполненными расчетами ВБР фланца оценивается величиной не менее 0,9999 ($P_{1флан}$=0,9999).

Шпильки фланцевого соединения «корпус-крышка»

Для стали 38ХН3МФА предел текучести $R_{p0,2}$=882 МПа.

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение величины напряжения в шпильках: $\sigma_{б1}$=219,9 МПа.

$$\varphi_{шп.к-к} = \frac{882}{219{,}9} = 4{,}01$$

$$P_{1шп.к-к} = F\left(\frac{4{,}01-1}{\sqrt{0{,}06^2*4{,}01^2+0{,}2^2}}\right) = F(9{,}62) = 0{,}9999.$$

ВБР фланцевого соединения «корпус-крышка»

$$P_{1фс.к-к} = min(P_{1флан}; P_{1шп.к-к}) = 0{,}9999.$$

Таким образом, при выполнении всех требований ТУ и конструкторской документации расчетное значение **ВБР фланцевого соединения «корпус-крышка»** оценивается величиной не менее **0,9999**.

5.4 Узел затвора с уплотнением «металл по металлу»

5.4.1 Оценка конструктивного исполнения

5.4.1.1 Узел затвора задвижки шиберной состоит из шибера с покрытием и седла с покрытием.

5.4.1.2 Для изготовления материала шибера выбрана сталь ASTM F516 Gr.70.

В соответствие со спецификацией сталь ASTM F516 Gr.70 является углеродистой сталью, предназначенной для изготовления деталей, эксплуатируемых при низких температурах рабочей или окружающей среды. Ближайшими отечественными аналогами стали ASTM F516 Gr.70 являются стали марок 22К, 14Г2.

5.4.1.3 Для изготовления материала седла выбрана сталь ASTM A350 LF2.

В соответствии со спецификацией сталь ASTM A350 LF2 является углеродистой сталью, предназначенной для изготовления деталей, эксплуатируемых при низких температурах рабочей или окружающей среды. Ближайшим отечественным аналогом стали ASTM A350 LF2 является сталь марки 09Г2С.

5.4.1.4 Стали, выбранные для изготовления шибера и седла задвижки, удовлетворяют требованиям технических условий на задвижки, и нормативных документов: ГОСТ Р 55020, СТ ЦКБА 005.1, СТ ЦКБА 005.3.

5.4.1.5 Требования к механическим характеристикам металлов шибера и седла – в соответствии с конструкторской документацией и техническими условиями.

Термообработка проводится по инструкции завода-изготовителя.

5.4.1.6 Конструкция и размеры шибера и седла – в соответствии с конструкторской документацией.

5.4.1.7 Припуски и допуски – в соответствии с требованиями конструкторской документации.

5.4.1.8 Покрытие поверхностей шибера – никель с карбидом кремния (Ni+SiC).

Требования к качеству покрытия (толщина, твердость, шероховатость) установлены в конструкторской документации, технических условиях и соответствуют требованиям ГОСТ Р 55020.

5.4.1.9 Покрытие поверхностей седла – никель (Ni).

Требования к качеству покрытия (толщина, твердость, шероховатость) установлены в конструкторской документации, технических условиях и соответствуют требованиям ГОСТ Р 55020.

5.4.1.10 Методы, объем и нормы контроля покрытий шибера и седла установлены в конструкторской документации, технических условиях и соответствуют требованиям ГОСТ Р 55020, ГОСТ 9.301, ГОСТ 9.302.

5.4.1.11 В соответствие с ЦКБ У18505-1000 РР расчет узла затвора включает в себя:

- силовой расчет задвижки на перепады давления на шибере при открытии: 1,6 МПа, 5,0 МПа, 7,0 МПа, 10,0 МПа;
- расчет шибера на статическую прочность.

Результаты расчетов показали, что:

- условие герметичности узла затвора при полном перепаде давления и при отсутствии перепада давления выполняется;
- конструкция шибера при заданных нагрузках соответствует условию прочности.

5.4.1.12 Конструкция узла затвора задвижки – в соответствии с конструкторской документацией.

5.4.1.13 Требования к герметичности узла затвора – в соответствии с требованиями технических условий и ГОСТ Р 55020.

5.4.2 Расчет ВБР узла затвора

Шибер

Для стали ASTM A516 Gr. 70 предел текучести $R_{p0,2}$=260 МПа.

В качестве максимального расчетного напряжения принимаем значение суммы общего или местных мембранных и общих изгибных напряжений в районе соединения «шибер-тяга»: (σ_m или σ_{mL})+ $\sigma_И$ =161 МПа.

$$\varphi_{шибер} = \frac{260}{161} = 1{,}61$$

$$P_{1шибер} = F\left(\frac{1{,}61-1}{\sqrt{0{,}06^2*1{,}61^2+0{,}2^2}}\right) = F(2{,}77) = 0{,}9971.$$

Седло

В виду незначительных напряжений, возникающих в седле при эксплуатации задвижки, расчет на прочность седла не проводился.

При выполнении всех требований ТУ и конструкторской документации расчетное значение **ВБР седла** оценивается величиной не менее **0,9999**.

ВБР узла затвора:

$$P_{1уз} = P_{1шибер} \cdot P_{1седло}=0{,}9971 \cdot 0{,}9999=0{,}997.$$

Таким образом, ВБР узла затвора задвижки оценивается величиной не менее **0,997**.

5.5 Шпиндель. Штифтовое соединение «шпиндель-тяга». Соединение «тяга-шибер»

5.5.1 Оценка конструктивного исполнения

5.5.1.1 Материал шпинделя 07Х16Н4Б выбран в соответствии с требованиями СТ ЦКБА 005.1 к материалам для изготовления шпинделей и штоков, эксплуатируемых в диапазоне температур от минус 70 до плюс 350 °С.

5.5.1.2 Материал тяги 40ХН2МА КП640 выбран в соответствии с требованиями СТ ЦКБА 005.1 к материалам для изготовления высоконагруженных деталей, эксплуатируемых в диапазоне температур от минус 50 до плюс 450 °С.

5.5.1.3 В качестве материала штифтов выбрана сталь ХН35ВТ. Данная сталь может эксплуатироваться в диапазоне температур от минус 70 до плюс 650 °С.

5.5.1.4 Требования к механическим характеристикам металлов шпинделя, штифтов и тяги установлены в конструкторской документации.

Термообработка:

- материала шпинделя и штифтов по СТ ЦКБА 016;
- материала тяги по инструкции завода-изготовителя.

5.5.1.5 Конструкция, размеры и требования при изготовлении шпинделя, штифтов и тяги представлены в конструкторской документации и технических условиях.

5.5.1.6 Припуски и допуски – в соответствие с требованиями конструкторской документации.

5.5.1.7 Методы и объем неразрушающего контроля металла шпинделя и тяги представлены в конструкторской документации и технических условиях.

5.5.1.8 В соответствии с результатами силового и прочностного расчетов ЦКБ У18505-1000 РР:

- приведенное напряжение в расчетном сечении шпинделя, определяемое по составляющим средних напряжений растяжения-сжатия и кручения, менее величины допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- напряжение среза бурта шпинделя менее величины допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- напряжение среза в резьбе шпинделя менее величины допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- расчет шпинделя на продольную устойчивость, показал, что конструкция шпинделя при заданных нагрузках удовлетворяет условию устойчивости;
- расчет напряжения среза в штифтах соединения «шпиндель-тяга» показал, что расчетное напряжение среза менее величины допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- расчет резьбы тяги показал, что напряжение среза в резьбе тяги менее допустимого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- расчет напряжения смятия и среза в соединении «тяга-шибер» показал, что напряжение среза менее допустимого напряжения, что удовлетворяет условию прочности.

5.5.2 Расчет ВБР системы «шпиндель+«шпиндель-тяга»+«тяга-шибер» ($P_{1шит}$)

Предел текучести:

- для стали 07Х16Н4Б (шпиндель) $R_{p0,2}$=734 МПа;
- для стали ХН35ВТ (штифт) $R_{p0,2}$=392 МПа;
- для стали 40ХН2МА КП640 (тяга) $R_{p0,2}$=640 МПа.

В качестве максимальных расчетных напряжений принимаем:

- для шпинделя: приведенное напряжение в расчетном сечении $\sigma_э$ =241 МПа;
- для штифта соединения «шпиндель-тяга» $\sigma_э$ =69 МПа;
- для тяги: значение суммы общего или местных мембранных и общих изгибных напряжений в тяге при открытии: (σ_m или σ_{mL})+ $\sigma_и$ =320 МПа.

$$\varphi_{шпиндель} = \frac{734}{241} = 3{,}05 \qquad \varphi_{штифт} = \frac{392}{69} = 5{,}68 \qquad \varphi_{тяга} = \frac{640}{320} = 2{,}00$$

$$P_{1шпиндель} = F\left(\frac{3{,}05-1}{\sqrt{0{,}06^2+3{,}05^2+0{,}2^2}}\right) = F(7{,}55) = 0{,}9999;$$

$$P_{1штифт} = F\left(\frac{5{,}68-1}{\sqrt{0{,}06^2+5{,}68^2+0{,}2^2}}\right) = F(11{,}84) = 0{,}9999;$$

$$P_{1тяга} = F\left(\frac{2{,}00-1}{\sqrt{0{,}06^2+2{,}00^2+0{,}2^2}}\right) = F(4{,}28) = 0{,}9999.$$

$$P_{1шит} = P_{1шпиндель} * P_{1штифт} * P_{1тяга} = (0{,}9999)^3 = 0{,}9997.$$

Таким образом, ВБР системы «шпиндель+«шпиндель-тяга»+«тяга-шибер» оценивается величиной не менее **0,9997**.

5.6 Бугельный узел

5.6.1 Оценка конструктивного исполнения

5.6.1.1 Бугельный узел является сборной системой, состоящей из:

- сварного корпуса, состоящего втулки и фланца;
- сборной втулки, состоящей из втулки кулачковой и втулки резьбовой, соединенных с помощью установочных винтов;
- кольца;
- подшипников.

5.6.1.2 Материалы деталей бугельного узла, находящихся под нагрузкой:

- корпусные детали бугельного узла (втулка и фланец) изготавливается из стали 09Г2С соответствие с СТ ЦКБА 005.1 для изготовления узлов арматуры в северном исполнении;
- втулка кулачковая изготавливается из стали 40ХН2МА КП640 в соответствие с СТ ЦКБА 005.1 для изготовления узлов арматуры высокого давления, эксплуатируемых в диапазоне температур от минус 50 до плюс 450 °С;
- втулка резьбовая изготавливается из бронзы БрАЖН 10-4-4 в соответствие с СТ ЦКБА 005.1 для изготовления резьбовых втулок, эксплуатируемых в диапазоне температур от минус 200 до плюс 350 °С;
- винты установочные изготавливаются из стали 45Х, применяемой для изготовления деталей к которым предъявляются требования повышенной твердости, износостойкости, прочности и работающих при незначительных ударных нагрузках; диапазон температур применения стали 45Х от минус 40 до плюс 425 °С.

5.6.1.3 Требования к механическим характеристикам металлов деталей бугельного узла установлены в конструкторской документации.

Термообработка:

- бронзовой резьбовой втулки по СТ ЦКБА 027;
- стальных втулок по инструкции завода-изготовителя.

5.6.1.4 Конструкция, размеры и требования при изготовлении деталей бугельного узла представлены в конструкторской документации и технических условиях.

5.6.1.5 Сварка корпусных деталей бугельного узла – в соответствии с требованиями СТ ЦКБА 025.

5.6.1.6 Припуски и допуски – в соответствие с требованиями конструкторской документации.

5.6.1.7 Методы и объем неразрушающего контроля металлов деталей бугельного узла и сварных соединений представлены в конструкторской документации и технических условиях.

5.6.1.8 В соответствии с результатами силового и прочностного расчетов ЦКБ У18505-1000 РР:

- проверка прочности втулки резьбовой показала, что при всех перепадах давления на шибере задвижки напряжения, возникающие в резьбе втулки, менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- проверка прочности втулки кулачковой показала, что:

а) напряжение среза в резьбе в соединении со втулкой резьбовой менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

б) напряжения во всех расчетных сечениях втулки менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

в) напряжения среза и смятия в бурте втулки менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

г) напряжения среза и смятия в кулачках втулки менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

- проверка прочности корпуса бугельного узла показала, что:

а) напряжения, возникающие в корпусе менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

б) напряжения среза в резьбе корпуса менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;

- проверка прочности установочных винтов в соединении втулок кулачковой и резьбовой, показала что, напряжения среза и смятия винтов менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности.

5.6.2 Расчет ВБР бугельного узла ($P_{1бугель}$)

Предел текучести:

- для стали 40ХН2МА (втулка кулачковая) $R_{p0,2}$=640 МПа;
- для стали 09Г2С (корпус) $R_{p0,2}$=265 МПа;
- для стали 45Х (винт) σ_T =835 МПа;
- для бронзы БрАЖН 10-4-4 (втулка резьбовая) $R_{p0,2}$=294 МПа.

В качестве максимальных расчетных напряжений принимаем:

- для втулки кулачковой: приведенное напряжение в кулачках $\sigma_Э$=84,8 МПа;
- для корпуса: соединения «шпиндель-тяга» $\sigma_Э$ =69 МПа;
- для винтов: напряжение смятия при максимальном перепаде давления $\sigma_{см}$=300,8 МПа

- для втулки резьбовой: напряжение смятия в трапецеидальной резьбе $\sigma_{см}$=36,7 МПа.

$$\varphi_{вт.куп} = \frac{640}{84.8} = 7,55 \qquad \varphi_{корп} = \frac{265}{69} = 3,84$$

$$\varphi_{винт} = \frac{835}{300,8} = 2,76 \qquad \varphi_{вт.рез} = \frac{294}{36,7} = 8,01$$

$$P_{1вт.куп} = F\left(\frac{7,55-1}{\sqrt{0,06^2*7,55^2+0,2^2}}\right) = F(13,23) = 0,9999;$$

$$P_{1корп} = F\left(\frac{3,84-1}{\sqrt{0,06^2*3,84^2+0,2^2}}\right) = F(9,31) = 0,9999;$$

$$P_{1винт} = F\left(\frac{2,76-1}{\sqrt{0,06^2*2,76^2+0,2^2}}\right) = F(6,82) = 0,9999;$$

$$P_{1вт.рез} = F\left(\frac{8,01-1}{\sqrt{0,06^2*8,01^2+0,2^2}}\right) = F(13,47) = 0,9999.$$

$$P_{1бугель} = P_{1вт.куп} * P_{1корп} * P_{1винт} * P_{1вт.рез} = (0,9999)^4 = 0,9996.$$

Таким образом, ВБР бугельного узла оценивается величиной не менее **0,9996**.

5.7 Фланцевое соединение «стойка-бугель»

5.7.1 Оценка конструктивного исполнения

5.7.1.1 Силовой и прочностной расчет фланцевого соединения «стойка-бугель» заключался в определении:

- усилия в шпильках соединения «стойка-бугель»;
- необходимого крутящего момента, обеспечивающего нераскрытие фланцевого соединения, и крутящего момента в резьбе шпильки;
- расчетных напряжений в шпильках.

5.7.1.2 Материал шпилек и гаек 20ХН3А выбраны в соответствие с требованиями СТ ЦКБА 005.1 для материалов и параметров применения крепежных изделий в арматуростроении. Диапазон температур применения стали 20ХН3А от минус 70 до плюс 425 °С.

5.7.1.3 Требования к крутящему моменту затяжки гаек в соединении «стойка-бугель» установлены в конструкторской документации.

5.7.1.4 В соответствии с результатами расчета ЦКБ У18505-1000 РР:

- расчетное напряжение в шпильках менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- проверка прочности резьбы показала, что напряжения среза в резьбе шпилек и гаек менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности.

5.7.2 Расчет ВБР фланцевого соединения «стойка-бугель» ($P_{с-б}$)

Предел текучести стали 20ХН3А (шпильки) σ_T =637 МПа.

Предел текучести стали 20ХН3А (гайки) σ_T =588 МПа.

В качестве максимальных расчетных напряжений принимаем:

- напряжение растяжения шпильки: 254 МПа;
- напряжение среза резьбы гайки: 136,7 МПа.

$$\varphi_{шп.с-б} = \frac{637}{254} = 2{,}50 \qquad \varphi_{г.с-б} = \frac{588}{136{,}7} = 4{,}30$$

$$P_{1шп.с-б} = F\left(\frac{2{,}50-1}{\sqrt{0{,}06^2*2{,}50^2+0{,}2^2}}\right) = F(6{,}02) = 0{,}9999;$$

$$P_{1г.с-б} = F\left(\frac{4{,}30-1}{\sqrt{0{,}06^2*4{,}30^2+0{,}2^2}}\right) = F(10{,}11) = 0{,}9999.$$

$$P_{1с-б} = P_{1шп.с-б} * P_{1г.с-б} = (0{,}9999)^2 = 0{,}9998.$$

Таким образом, ВБР фланцевого соединения «стойка-бугель» оценивается величиной не менее **0,9998**.

5.8 Фланцевое соединение «крышка-стойка»

5.8.1 Оценка конструктивного исполнения

5.8.1.1 Силовой и прочностной расчет фланцевого соединения «стойка-бугель» заключался в определении:

- усилия в шпильках соединения «крышка-стойка»;
- необходимого крутящего момента, обеспечивающего нераскрытие фланцевого соединения, и крутящего момента в резьбе шпильки;
- расчетных напряжений в шпильках.

5.8.1.2 Материал шпилек и гаек 20ХН3А выбраны в соответствии с требованиями СТ ЦКБА 005.1 для материалов и параметров применения крепежных изделий в арматуростроении. Диапазон температур применения стали 20ХН3А от минус 70 до плюс 425 °С.

5.8.1.3 Требования к крутящему моменту затяжки гаек в соединении «крышка-стойка» установлены в конструкторской документации.

5.8.1.4 В соответствии с результатами расчета ЦКБ У18505-1000 РР:

- расчетное напряжение в шпильках менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности;
- проверка прочности резьбы показала, что напряжения среза в резьбе шпилек и гаек менее допускаемого напряжения, что удовлетворяет условию прочности.

5.8.2 Расчет ВБР фланцевого соединения «крышка-стойка» ($P_{1к-с}$)

Предел текучести стали 20ХН3А (шпильки) σ_T =637 МПа.

Предел текучести стали 20ХН3А (гайки) σ_T =588 МПа.

В качестве максимальных расчетных напряжений принимаем:

- напряжение растяжения шпильки: 226,8 МПа;
- напряжение среза резьбы гайки: 134,6 МПа.

$$\varphi_{шп.к-с} = \frac{637}{226,8} = 2,81 \qquad \varphi_{г.к-с} = \frac{588}{134,6} = 4,37$$

$$P_{1шп.к-с} = F\left(\frac{2,81-1}{\sqrt{0,06^2*2,81^2+0,2^2}}\right) = F(6,92) = 0,9999;$$

$$P_{1г.к-с} = F\left(\frac{4,37-1}{\sqrt{0,06^2*4,37^2+0,2^2}}\right) = F(10,22) = 0,9999.$$

$$P_{1к-с} = P_{1шп.к-с} * P_{1г.к-с} = (0,9999)^2 = 0,9998.$$

Таким образом, ВБР фланцевого соединения «крышка-стойка» оценивается величиной не менее **0,9998**.

5.9 Электропривод

В соответствии с ТУ 3791-019-00139181-2006 и ТУ 3791-012-001139181-2003 на электроприводы ВБР в течение назначенного ресурса 3000 циклов оценивается величиной не менее 0,99.

Тогда, ВБР электропривода в течение назначенного ресурса 1500 циклов:

$$P_{1эп} = e^{\frac{1500}{3000}\ln 0,99} = 0,995.$$

Таким образом, ВБР электропривода задвижки в течение назначенного ресурса 1500 циклов оценивается величиной не менее **0,995**.

5.10 ВБР задвижки по прочности и нагрузке

Результаты расчета ВБР задвижки по прочности и нагрузке приведены в таблице И.3

Т а б л и ц а И.3 – Таблица для расчета вероятности неразрушения деталей задвижки

Наименование детали и напряжения	Материал детали	Расчетное напряжение M_{Si} (МПа)	Предел текучести M_{Ri} (МПа)	Коэффициент запаса $\varphi_i = \frac{M_{Ri}}{M_{Si}}$	Коэффициент вариации прочности K_{Ri} и нагрузки K_{Si} (по прил.Д)	Вероятность безотказной работы $P_{ti}(t) = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{k_{Ri}^2 \cdot \varphi_i^2 + k_{Si}^2}}\right)$
Корпусные детали						
Корпус	20ГМЛ	127	300	2,36	0,06 / 0,2	0,9999
Крышка	20ГМЛ	140	300	2,14	0,06 / 0,2	0,9999
Мин. ВБР корпусных						**0,9999**
Сальниковый узел						
Фланец сальника	40ХН2МА	259,4	640.	2,47	0,06 / 0,2	0,9999
Крепежные детали (шпильки и гайки) сальникового узла	20ХН3А	Не значительное	637			Близка к 1 (0,9999)
Мин. ВБР сальникового узла						**0,9999**
Фланцевое соединение «корпус-крышка»						
Фланец корпуса	20ГМЛ	122	300	2,46	0,06 / 0,2	0,9999
Шпильки фланцевого соединения «корпус-крышка»	38ХН3МФА	219,9	882	4,01	0,06 / 0,2	0,9999
Мин. ВБР фланцевого соединения «корпус-крышка»						**0,9999**
Узел затвора						
Шибер	ASTM A516 Gr. 70	161	260	1,61	0,06 / 0,2	0,9971
Седло		Не значительное				Близка к 1 (0,9999)
ВБР узла затвора						**0,997**

Окончание таблицы И.3

Наименование детали и напряжения	Материал детали	Расчетное напряжение M_{Si} (МПа)	Предел текучести M_{Ri} (МПа)	Коэффициент запаса $\varphi_i = \frac{M_{Ri}}{M_{Si}}$	Коэффициент вариации прочности K_{Ri} и нагрузки K_{Si} (по прил.Д)	Вероятность безотказной работы $P_{ti}(t) = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{k_{Ri}^2 \cdot \varphi_i^2 + k_{Si}^2}}\right)$
Шпиндель. Штифтовое соединение «шпиндель-тяга». Соединение «тяга-шибер»						
Шпиндель	07Х16Н4Б	241	735	3,05	0,06 / 0,2	0,9999
Штифт	ХН35ВТ	69	392	5,68	0,06 / 0,2	0,9999
Тяга	40ХН2МА	320	640	2,00	0,06 / 0,2	0,9999
ВБР системы «шпиндель+«шпиндель-тяга»+«тяга-шибер»						**0,9997**
Бугельный узел						
Втулка кулачковая	40ХН2МА	84,8	640	7,55	0,06 / 0,2	0,9999
Корпус	09Г2С	69	265	3,84	0,06 / 0,2	0,9999
Винт	45Х	300,8	835	2,76	0,06 / 0,2	0,9999
Втулка резьбовая	БрАЖН 10-4-4	36,7	294	8,01	0,06 / 0,2	0,9999
ВБР бугельного узла						**0,9996**
Фланцевое соединение «стойка-бугель»						
Шпильки	20ХН3А	254	637	2,5	0,06 / 0,2	0,9999
Гайки	20ХН3А	136,7	588	4,3	0,06 / 0,2	0,9999
ВБР фланцевого соединения «стойка-						**0,9998**
Фланцевое соединение «крышка-стойка»						
Шпильки	20ХН3А	226,8	637	2,81	0,06 / 0,2	0,9999
Гайки	20ХН3А	134,6	588	4,37	0,06 / 0,2	0,9999
ВБР фланцевого соединения «крышка-						**0,9998**
Электропривод						
ВБР электропривода						**0,995**
ВБР задвижки по прочности и нагрузке						**0,995**

Исходя из результатов расчета, приведенного в 5.1 - 5.9 значение ВБР задвижки по прочности и нагрузке

$$P_1(t) = min\ \ P_{1i}(t) = P_{1эл} = 0{,}995$$

Таким образом, ВБР задвижки по прочности и нагрузке оценивается величиной не менее **0,995**.

5.11 Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые пределы

Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые пределы (P_2) рассчитывается с помощью модели «непревышения» типа «параметр – поле допуска» по формуле

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

где P_{2j} – вероятность невыхода j-ого параметра функционирования за допустимые пределы.

Параметрами (характеристиками) функционирования задвижки являются:

- герметичность затвора;
- время открытия или закрытия.

5.11.1 Вероятность невыхода параметров герметичности затвора задвижки за допустимые пределы.

Герметичность затвора задвижек, изготавливаемых по ТУ 3741-224-34390194-2009, должна соответствовать классу «А» ГОСТ Р 54808.

При выполнении всех требований технических условий и конструкторской документации применительно к функционированию узла затвора:

- требований к конструктивным параметрам деталей узла затвора,
- требований к механическим характеристикам деталей узла затвора,
- требований к материалам и характеристикам покрытий деталей узла затвора,
- требований к методам и объему контроля основного металла и покрытия деталей узла затвора,
- требований при сборке узла затвора,
- требований к параметрам и характеристикам металлов шпинделя и тяги,
- требований к методам и объему контроля металла шпинделя и тяги,
- требований к припускам и допускам, установленным в конструкторской документации,
- требований к параметрам и характеристикам металлов деталей бугельного узла,
- требований, полученных в ходе силового расчета задвижки шиберной,
- требований ТУ 3791-019-00139181-2006 и ТУ 3791-012-001139181-2003, установленных к электроприводам,
- требований к параметрам и характеристикам рабочей среды, установленным в технических условиях,

вероятность невыхода параметра герметичности затвора задвижки за допустимые пределы (класс А по ОТТ-23.060.30-КТН-246-08) близка к единице (принимаем для дальнейшего расчета значение ВБР – **0,9999**).

5.11.2 Вероятность невыхода времени открытия/закрытия задвижки за допустимые пределы ($P_{2время}$).

Максимальное время срабатывания задвижки DN 1000: **293 сек**.

Максимальное время срабатывания задвижки DN 1000 в соответствии с ОТТ-23.060.30-КТН-246-08: **420 сек**.

Значение коэффициента вариации параметра «Время срабатывания» в соответствии с настоящим стандартом: **0,1**.

Тогда, вероятность невыхода времени открытия/закрытия задвижки за допустимые пределы

$$P_{2время} = F\left(\frac{420-293}{0{,}1*293}\right) = F(4{,}33) = 0{,}9999.$$

5.11.3 Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые пределы ($P_{2парам}$)

Результаты расчета вероятности невыхода параметров функционирования за допустимые пределы ($P_{2парам}$) приведены в таблице И.4

Таблица И.4 – Таблица для расчета ВБР (вероятности невыхода параметров функционирования задвижки за допустимые границы)

Параметр функционирования	Среднее значение параметра функционирования y_j	Ограничения параметра функционирования $\left[y^в, y^н\right]$	Коэффициент вариации параметра функционирования k_{yj}	Значения $X_j = \frac{y^в - y_j}{k_{yj} \cdot y_j}$ или $X_j = \frac{y_j - y^н}{k_{yj} \cdot y_j}$	Вероятность безотказной работы $P_{2j} = F(X_j)$
Вероятность невыхода параметров герметичности затвора за допустимые пределы					Близка к 1 (0,9999)
Вероятность невыхода времени открытия/закрытия за допустимые пределы.	293 сек.	420 сек	0,1	4,33	0,9999
Вероятность невыхода параметров функционирования за допустимые пределы ($P_{2парам}$)					**0,9999**

Исходя из 5.11.1 и 5.11.2 $P_2(t) = min\ \ P_{2j}(t) = 0{,}9999$.

5.12 Вероятность безотказной работы задвижки $P(t)$

Вероятность безотказной работы задвижки по прочности, нагрузке и параметрам функционирования составляет:

$$P(t) = 0{,}995 \cdot 0{,}9999 = 0{,}9949.$$

Таким образом, вероятность безотказной работы задвижки составляет **не менее 0,99.**

6 Заключение

6.1 Расчетная вероятность безотказной работы задвижек, выполненных по чертежу ЦКБ У18505-1000 СБ, составляет **не менее 0,99.**

Результаты расчета представлены в таблицах И.3 и И.4.

6.2 Вероятность безотказной работы задвижек должна учитываться проектантом системы (объекта) в составе которого будут эксплуатироваться задвижки при количественной оценке риска системы (объекта). Значение риска определяется вероятностью отказа задвижки с учетом последствий отказа.

6.3 Расчет должен быть уточнен приемочными испытаниями и сбором информации об эксплуатационной надежности.

6.4 При испытаниях контролю подлежат значения параметров функционирования, указанные в 5.11.

Пример И.4. Расчет показателей безотказности элементов арматуры

Расчет выполнен для базовых конструкций арматуры различных видов и типов, когда информация о надежности ее узлов и деталей отсутствует и заданы требования к надежности арматуры в целом.

1 Задача расчета

Определить необходимую вероятность безотказной работы элементов (узлов) арматуры для заданных (требуемых) значений вероятностей безотказной работы арматуры: 0,9, 0,95 и 0,98 .

2 Исходные данные

Возможные отказы арматуры:

1) негерметичность затвора;

2) негерметичность относительно внешней среды;

3) отсутствие рабочих перемещений.

3 Основные допущения, принятые при расчете

3.1 Отказы элементов являются событиями случайными и независимыми.

3.2 Вероятность безотказной работы элементов арматуры определяется экспоненциальным законом распределения.

3.3 Все элементы (узлы) арматуры равнонадежны.

3.4 Из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа, т.е. интенсивность отказов принимается постоянной.

3.5 При расчете учитываются только те элементы, выход из строя которых приводит к конкретному отказу арматуры.

4 Расчет показателей безотказности

4.1 Составляется схема отказов арматуры, аналогичная рисунку И.1 (Пример И.2), с учетом допущения 3.5.

4.2 Вероятность безотказной работы арматуры (*Pc*) по отношению ко всем указанным в исходных данных отказам определяется по формуле

$$Pc = \prod_{1}^{3} Pi = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 ,$$

где P_1, P_2, P_3 - вероятность безотказной работы по отношению к конкретному отказу.

4.3 Вероятность безотказной работы по отношению к конкретному отказу определяется по формуле

$$Pi = \prod_{i}^{n} P_{in} ,$$

где P_{in} - вероятность безотказной работы каждого элемента (узла) арматуры по отношению к конкретному отказу.

4.4 В случае расчета, когда ВБР (интенсивности отказов) всех искомых элементов (узлов) арматуры принимаются равнонадежными, формула для *Pi* примет вид:

$$Pi = P_{in}^{\ n} .$$

Откуда, ВБР каждого искомого элемента (узла)

$$P_{in} = \sqrt[n]{Pi} .$$

4.5 Результаты расчетов ВБР для различных типов арматуры базовых конструкций представлены в таблицах И.5 – И.10. При наличии в конструкции арматуры других элементов или другого влияния элементов на возможность отказа, расчет должен быть уточнен.

Таблица И.5 - Безотказность элементов крана

Вид отказа	Детали (элементы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР крана в целом		
		0,9	0,95	0,98
Негерметичность затвора	Кран (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительные кольца в корпусе крана	0,9913	0,996	0,9984
	Пробка, шар*	0,9913	0,996	0,9984
	Корпус*	0,9913	0,996	0,9984
Негерметичность по отношению к внешней среде	Кран (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Корпус*	0,993	0,997	0,999
	Накидная гайка	0,993	0,997	0,999
	Сальниковая набивка	0,993	0,997	0,999
	Прокладка	0,993	0,997	0,999
	Манжета гидро-, пневмопривода	0,993	0,997	0,999
Отсутствие рабочих перемещений	Кран (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Пробка, шар*	0,993	0,997	0,999
	Шпонка	0,993	0,997	0,999
	Зубчатые колеса редуктора	0,993	0,997	0,999
	Шпиндель	0,993	0,997	0,999
	Привод	0,993	0,997	0,999
Примечание - Для деталей (элементов), определяющих несколько видов отказов, в качестве требуемого принимается наибольшее значение ВБР				

Таблица И.6 - Безотказность элементов клапанов (затворов) обратных

Вид отказа	Детали (элементы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР клапана (затвора) в целом		
		0,9	0,95	0,98
Негерметичность затвора (запирающего элемента)	Клапан (затвор) (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительная поверхность (кольцо) захлопки, золотника	0,989	0,995	0,998
	Уплотнительная поверхность корпуса	0,989	0,995	0,998
	Пружина*	0,989	0,995	0,998
Негерметичность по отношению к внешней среде	Клапан (затвор) (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Корпус	0,992	0,996	0,999
	Крышка	0,992	0,996	0,999
	Прокладка	0,992	0,996	0,999
	Крепежные детали (болты, гайки, шпильки) в целом	0,992	0,996	0,999
Отсутствие рабочих перемещений	Клапан (затвор) (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Сильфон	0,995	0,998	0,9991
	Захлопка	0,995	0,998	0,9991
	Золотник	0,995	0,998	0,9991
	Пружина*	0,995	0,998	0,9991
	Ось, штифт	0,995	0,998	0,9991
	Рычаг, серьга	0,995	0,998	0,9991
	Диск	0,995	0,998	0,9991
Примечание - Для деталей (элементов), определяющих несколько видов отказов, в качестве требуемого принимается наибольшее значение ВБР				

Таблица И.7. Безотказность элементов (узлов) задвижек

Вид отказа	Элементы (узлы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР задвижки в целом		
		0,9	**0,95**	**0,98**
Негерметичность затвора	Задвижка (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительные кольца корпуса	0,9913	0,996	0,9984
	Уплотнительные кольца клина (дисков, шибера)	0,9913	0,996	0,9984
Негерметичность по отношению к внешней среде	Задвижка (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Сальниковая набивка	0,9942	0,9972	0,999
	Корпус	0,9942	0,9972	0,999
	Крышка	0,9942	0,9972	0,999
	Крепежные детали (болты, гайки, шпильки) в целом	0,9942	0,9972	0,999
	Прокладка	0,9942	0,9972	0,999
	Манжета пневмо-гидропривода	0,9942	0,9972	0,999
Отсутствие рабочих перемещений	Задвижка (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Резьбовая втулка, резьбовая часть шпинделя	0,996	0,998	0,9992
	Клин, диски, шибер	0,996	0,998	0,9992
	Ось, грибок	0,996	0,998	0,9992
	Шпиндель	0,996	0,998	0,9992
	Направляющая клина	0,996	0,998	0,9992
	Шпонка, стопорный винт	0,996	0,998	0,9992
	Зубчатые колеса редуктора	0,996	0,998	0,9992
	Привод	0,996	0,998	0,9992

Таблица И.8 - Безотказность элементов клапанов предохранительных (грузовых, рычажных)

Вид отказа	Элементы (узлы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР клапана в целом		
		0,9	**0,95**	**0,98**
Негерметичность затвора	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительное кольцо корпуса	0,989	0,995	0,998
	Уплотнительное кольцо золотника	0,989	0,995	0,998
	Пружина*	0,989	0,995	0,998
Негерметичность по отношению к внешней среде	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Корпус	0,993	0,997	0,999
	Крышка	0,993	0,997	0,999
	Сильфон	0,993	0,997	0,999
	Прокладка	0,993	0,997	0,999
	Мембрана	0,993	0,997	0,999
Отсутствие рабочих перемещений	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Направляющая втулка	0,993	0,997	0,999
	Пружина*	0,993	0,997	0,999
	Шток	0,993	0,997	0,999
	Палец	0,993	0,997	0,999
	Рычаг	0,993	0,997	0,999
Примечание - Для деталей (элементов), определяющих несколько видов отказов, в качестве требуемого принимается наибольшее значение ВБР				

Таблица И.9 - Безотказность элементов клапанов регулирующих

Вид отказа	Элементы (узлы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР клапана в целом		
		0,9	0,95	0,98
Негерметичность затвора	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительное кольцо золотника	0,9913	0,996	0,9984
	Уплотнительное кольцо корпуса	0,9913	0,996	0,9984
	Пружина*	0,9913	0,996	0,9984
	Мембрана	0,9913	0,996	0,9984
Негерметичность по отношению к внешней среде	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Корпус	0,996	0,998	0,9992
	Сальниковая набивка	0,996	0,998	0,9992
	Прокладка	0,996	0,998	0,9992
	Крышка	0,996	0,998	0,9992
	Накидная гайка	0,996	0,998	0,9992
	Сильфон	0,996	0,998	0,9992
	Крепежные детали в целом	0,996	0,998	0,9992
	Плунжер (золотник)	0,996	0,998	0,9992
Отсутствие рабочих перемещений	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Направляющая	0,995	0,998	0,9991
	Шток	0,995	0,998	0,9991
	Резьбовая часть шпинделя	0,995	0,998	0,9991
	Резьбовая втулка	0,995	0,998	0,9991
	Мембрана	0,995	0,998	0,9991
	Пружина*	0,995	0,998	0,9991
	Исполнительный механизм (привод)	0,995	0,998	0,9991
Примечание - Для деталей (элементов), определяющих несколько видов отказов, в качестве требуемого принимается наибольшее значение ВБР				

Таблица И.10 - Безотказность элементов клапанов запорных, отсечных

Вид отказа	Элементы (узлы), определяющие отказ	ВБР деталей для обеспечения ВБР клапана в целом		
		0,9	**0,95**	**0,98**
Негерметичность затвора	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Уплотнительное кольцо корпуса	0,989	0,995	0,998
	Уплотнительное кольцо золотника	0,989	0,995	0,998
	Пружина	0,989	0,995	0,998
Негерметичность по отношению к внешней среде	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Корпус	0,995	0,998	0,999
	Сальниковая набивка	0,995	0,998	0,999
	Прокладка	0,995	0,998	0,999
	Сильфон	0,995	0,998	0,999
	Крышка	0,995	0,998	0,999
	Крепежные детали в целом	0,995	0,998	0,999
Отсутствие рабочих перемещений	Клапан (по отказу)	**0,9655**	**0,9831**	**0,9933**
	Резьбовая втулка	0,997	0,9983	0,9994
	Резьбовая часть шпинделя	0,997	0,9983	0,9994
	Подшипники	0,997	0,9983	0,9994
	Шпиндель	0,997	0,9983	0,9994
	Шток	0,997	0,9983	0,9994
	Золотник	0,997	0,9983	0,9994
	Шпонка, стопорный винт	0,997	0,9983	0,9994
	Мембрана	0,997	0,9983	0,9994
	Зубчатые колеса редуктора	0,997	0,9983	0,9994
	Привод	0,997	0,9983	0,9994

Библиография

[1]	НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97)	Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ - 88/97)
[2]	Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011	«О безопасности машин и оборудования»
[3]	Справочник	«Справочник по математике (для научных работников и инженеров)». Автор: Г. Корн, Т. Корн. Издательство: Наука. 1974 год.)

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер изме-нения	Номер листа (страницы)				Номер доку-мента	Подпись	Дата внесения изменения	Дата введения изменения
	измененного	замененного	нового	аннулированного				

Генеральный директор
ЗАО «НПФ «ЦКБА» В.П Дыдычкин.

Заместитель генерального
директора - главный конструктор В.А.Горелов

Заместитель генерального
директора - директор по научной
и экспертной работе Ю.И.Тарасьев

Заместитель директора по научной работе С.Н.Дунаевский

Исполнители:

Заместитель директора по научной работе О.А.Токмаков

Начальника отдела № 152 П.Г.Генкин

Согласовано:

Председатель ТК 259 М.И.Власов

gost.e-ecolog.ru