ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70142— 2022

АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДНАЯ

Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-производственная фирма «Центральное конструкторское бюро арматуростроения» (АО «НПФ «ЦКБА»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 259 «Трубопроводная арматура и сильфоны»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 июня 2022 г. № 456-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Общие положения 3
5 Анализ видов и последствий отказов и анализ видов, последствий и критичности отказов арматуры 5
6 Рекомендации по расчету и оценке надежности и безопасности 12
7 Методы расчета показателей безотказности 13
8 Методы расчета показателей долговечности . . . . . .
9 Расчет и оценка назначенных показателей 18
10 Требования к оформлению расчета 19
Приложение А (справочное) Перечень потенциально возможных отказов арматуры 20
Приложение Б (справочное) Качественная классификация тяжести последствий отказа арматуры при выполнении АВПКО 21
Приложение В (справочное) Показатели безотказности деталей (узлов) арматуры 22
Приложение Г (рекомендуемое) Таблицы для расчета ВБР деталей и узлов арматуры методом по прочности, нагрузке и параметрам функционирования 23
Приложение Д (справочное) Значения коэффициентов вариации для основных параметров функционирования и механических свойств конструкционных материалов 24
Библиография 25

Введение

Настоящий стандарт входит в комплекс стандартов по трубопроводной арматуре.

Настоящий стандарт разработан на основе многолетнего применения РД 24-207-06—90 и СТ ЦКБА 008, созданных специалистами АО «НПФ «ЦКБА».

Проблема расчета и оценки надежности и безопасности на этапе проектирования стоит перед разработчиками и заказчиками трубопроводной арматуры. Решение этой задачи обеспечивает возможность определения вероятности безотказной работы арматуры, которая должна учитываться проектантом системы (объекта), в составе которого будет эксплуатироваться арматура, при количественной оценке риска системы (объекта). Значение риска системы (объекта) позволяет определить допустимую вероятность отказа арматуры с учетом последствий отказа.

Это повышает безопасность персонала, населения и окружающей среды, а также безаварийную работу арматуры в течение всего срока ее эксплуатации.

Настоящий стандарт создан группой специалистов АО «НПФ «ЦКБА» Ю.И. Тарасьевым, О.А. Токмаковым, С.Н. Дунаевским с учетом опыта проектирования, изготовления, эксплуатации, а также проведения расчетов по надежности и безопасности трубопроводной арматуры.

Настоящий стандарт может быть применим для предприятий и организаций, занимающихся проектированием и изготовлением трубопроводной арматуры.

Дополнительную информацию по вопросам, затронутым в стандарте, можно получить по электронной почте gost.e-ecolog.ru

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

АРМАТУРА ТРУБОПРОВОДНАЯ

Расчет и оценка надежности и безопасности на этапе проектирования

Pipeline valves. Calculation and evaluation of reliability and safety at the stage of design

Дата введения — 2023—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубопроводную арматуру (далее — арматура) 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.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.2.063 Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности

ГОСТ 27.301 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

ГОСТ 27.310 Надежность в технике. Анализ видов последствий и критичности отказов. Основные положения

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

ГОСТ 24856 Арматура трубопроводная. Термины и определения

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

ГОСТ Р 27.013—2019 (МЭК 62308:2006) Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности

ГОСТ Р 27.102 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения

ГОСТ Р 27.303 (МЭК 60812:2018) Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов

ГОСТ Р 50779.21—2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение

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

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

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам

Издание официальное

ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 27.301, ГОСТ 16504, ГОСТ 24856, ГОСТ Р 27.102, ГОСТ Р 54123, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **оценка надежности и безопасности арматуры:** Процедура сравнения качественных и количественных значений показателей надежности и показателей безопасности арматуры с требуемыми значениями этих показателей.

3.1.1.1 **качественная оценка надежности и безопасности арматуры:** Процедура итеративного анализа методами анализа видов и последствий отказов (АВПО) и анализа видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) вероятности возникновения и тяжести последствий потенциальных отказов узлов и деталей арматуры и сравнения их значений с требуемыми значениями этих показателей для принятия мер по снижению риска критических отказов арматуры.

3.1.1.2 **количественная оценка надежности и безопасности арматуры:** Процедура определения количественных значений показателей надежности и безопасности арматуры с использованием расчетных методов и сравнения их значений с требуемыми значениями этих показателей для принятия мер по снижению риска критических отказов арматуры.

3.1.2 **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).

3.1.3 **деградационный отказ:** Отказ, возникший по причине, связанной с естественными процессами старения, изнашивания, коррозии, усталости и т. п. объекта или его составных частей при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации объекта.

3.1.4 **средняя наработка на отказ:** Отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию количества его отказов в течение этой наработки.

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

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 атомной станции (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.

3.1.6 **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 деталей (узлов) или пассивных деталей (узлов), имеющих механические движущиеся части.

3.1.7 **системы [детали, узлы] безопасности:** Системы (детали, узлы), предназначенные для выполнения функций безопасности.

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

3.1.9 **системы [детали, узлы] независимые:** Системы (детали, узлы), для которых отказ одной системы (детали, узлы) не приводит к отказу другой системы (детали, узлы).

3.1.10 **системы [детали, узлы] нормальной эксплуатации:** Системы (детали, узлы), предназначенные для осуществления нормальной эксплуатации.

Примечание — Термины и определения по 3.1.5—3.1.10 с соответствующими примечаниями определяют дополнительные или специальные требования к арматуре для АС.

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АВПО — анализ видов и последствий отказов;

АВПКО — анализ видов, последствий и критичности отказов;

ВБР — вероятность безотказной работы;

КД — конструкторская документация;

КР — критический отказ;

НД — нормативные документы;

НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;

НКР — некритический отказ;

ПС — паспорт;

РЭ — руководство по эксплуатации;

ТЗ — техническое задание;

ТУ — технические условия;

ЭД — эксплуатационная документация.

4 Общие положения

4.1 Расчет и оценку показателей надежности и безопасности арматуры при проектировании осуществляют в два этапа:

- этап 1 — качественная оценка надежности и безопасности арматуры путем итеративного анализа методами АВПО и АВПКО вероятности возникновения и тяжести последствий потенциальных отказов узлов и деталей арматуры и сравнения их значений с требуемыми значениями этих показателей. Этап завершается выбором оптимального конструктивного исполнения проектируемой арматуры, отвечающего требованиям надежности и безопасности;

- этап 2 — количественная оценка (расчет) надежности и безопасности конструктивного исполнения проектируемой арматуры, выбранного по результатам 1-ого этапа. 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 деталей (узлов) арматуры, по данным о надежности и безопасности аналогов, данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета. Результаты расчета сравнивают с требуемыми значениями этих показателей.

Этап 2 завершается получением количественных значений показателей надежности и безопасности арматуры для включения их в техническую документацию, с последующим подтверждением на приемочных испытаниях в процессе постановки на производство.

4.2 Оценку надежности арматуры на этапе проектирования проводят с целью:

- сравнения различных вариантов конструкции арматуры;

- выявления узлов, деталей и комплектующих деталей (узлов), лимитирующих надежность арматуры;

- обоснования количественных требований по надежности арматуры и распределения их значений по деталям (узлам) конструкции;

- обоснования и проверки эффективности предлагаемых мер по доработке конструкции, технологии изготовления, периодичности технического обслуживания и ремонта;

- решения задач безопасности и оценки риска;

- получения количественных значений показателей конструктивной надежности для включения в техническую документацию на арматуру;

- проверки соответствия прогнозируемого уровня надежности требованиям ТЗ.

4.3 Оценку безопасности арматуры на этапе проектирования проводят с целью:

- определения вероятности возможного критического отказа как фактора риска;

- определения и принятия мер по устранению или сведению к минимуму вероятности возможного критического отказа;

- определения величин назначенного срока службы (ресурса), исходя из значения ВБР за этот период (наработку), близкого к единице;

- определения и принятия соответствующих защитных мер против тех факторов риска, которые невозможно устранить.

4.4 Показатели надежности и показатели безопасности должны задаваться в ТЗ на разработку или в документе, заменяющем ТЗ, с учетом действующих технических регламентов, НД на конкретные виды и типы арматуры и указываться в ТУ и ЭД.

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

4.6 Разработка конструкции арматуры должна осуществляться с учетом требований безопасности, действующих НД, применяемых на объектах, где предполагается эксплуатация арматуры (технических регламентов, правил надзорных органов).

4.7 Надежность и безопасность арматуры на этапе проектирования обеспечивают:

- выполнением АВПО или АВПКО с оценкой достигнутой надежности и безопасности арматуры;

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

- выбором материалов для изготовления деталей арматуры и сварных соединений в соответствии с требованиями НД (или с выполнением соответствующих испытаний), отвечающих условиям эксплуатации (давление, температура, состояние рабочей среды, характеристика окружающей среды);

- выполнением всех необходимых расчетов конструкции;

- внесением в техническую документацию требований к технологическим процессам, методам и объемам контроля при изготовлении арматуры, ее деталей, узлов и комплектующих, требований, обеспечивающих надежную и безопасную эксплуатацию арматуры;

- анализом данными эксплуатационной статистики по конструктивным отказам деталей, узлов и комплектующих арматуры;

- 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.

4.8 Конструкция арматуры должна обеспечивать ее работоспособность и безопасность в рабочих условиях, исходя из видов опасности, которые могут возникнуть, в т. ч.: механическая, электрическая, термическая, радиационная, химическая, взрывоопасность, пожароопасность, уровень шума и вибрации.

4.9 При проектировании арматуры, предназначенной для эксплуатации на опасном производственном объекте, в соответствии с [1] должны быть установлены показатели надежности и показатели безопасности, обеспечивающие надежное и безопасное функционирование арматуры в составе систем.

4.10 Как правило, для арматуры опасных производственных объектов в соответствии с ГОСТ 12.2.063 устанавливают показатели надежности, указанные в таблице 1, и показатели безопасности, указанные в таблице 2.

Таблица 1 — Номенклатура нормируемых показателей надежности

Показатели надежности	Наименование показателя*		Размерность
	для арматуры, отказ которой может быть критическим	для арматуры, отказ которой не является критическим	
Показатели безотказности	Вероятность безотказной работы** в течение срока службы (ресурса)	—	—
	—	Средняя наработка на отказ (до отказа)***	цикл (ч)
Показатели долговечности*4	Полный срок службы (до списания)	Средний полный срок службы (до списания), (срок службы до капитального ремонта)	год
	Полный ресурс (до списания)	Средний полный ресурс (до списания), (ресурс до капитального ремонта)***	цикл (ч)

Окончание таблицы 1

Показатели надежности	Наименование показателя*		Размерность
	для арматуры, отказ которой может быть критическим	для арматуры, отказ которой не является критическим	
Показатель сохраняемости	Срок хранения		месяц или год
Показатели ремонтопригодности	Время восстановления работоспособного состояния арматуры		ч
	Трудоемкость работ по восстановлению работоспособного состояния арматуры		норма времени (ч)

* Из наименования показателей исключено понятие «средняя» («средний»), допускающее разброс значений показателей, среди которых могут быть недопустимые (неприемлемые).

** Показатель «вероятность безотказной работы» измеряется в относительных единицах.

*** Для регулирующей арматуры — только в часах.

*4 Для всех видов арматуры, устанавливаемой на емкостях для транспортирования грузов (цистерны, контейнеры и др.), показатели долговечности должны устанавливаться дополнительно в километрах пробега.

Примечания

1 Численные значения показателей долговечности и безотказности в ТЗ, ТУ, КД и ЭД указывают как: «не менее … лет (циклов, ч)».

2 Численные значения показателей сохраняемости в ТЗ, ТУ, КД и ЭД указывают как: «не более … месяцев (лет)», численные значения показателей ремонтопригодности в ТУ, КД и ЭД указывают как: «не более … часов».

Таблица 2 — Номенклатура нормируемых показателей безопасности арматуры

Наименование показателя		Размерность
Назначенные показатели*	Назначенный ресурс**	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) не менее	—

* В технической документации (ТЗ, ТУ, ПС, РЭ) указывают конкретные количественные значения назначенных показателей (без использования ограничений «не менее», «не более»).

** Для регулирующей арматуры — только в часах.

4.11 Проектируемая арматура для АС должна отвечать требованиям [2].

5 Анализ видов и последствий отказов и анализ видов, последствий и критичности отказов арматуры

5.1 Общие рекомендации по выполнению АВПО и АВПКО приведены в ГОСТ Р 27.303 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 Целями анализа для арматуры могут быть:

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

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

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

- разработка плана по обеспечению проектом эффективности технологических процессов и методов контроля в процессе производства;

- разработка плана по обеспечению штатной эксплуатации, эффективного технического обслуживания и ремонта для снижения вероятности возникновения отказов в процессе эксплуатации.

5.3 Результатом анализа должен (должны) быть отработанный(е) вариант(ы) блок-схемы проектируемой арматуры, представляемый(е) для реализации 2-ого этапа проектирования — количественной (расчетной) оценки надежности и безопасности.

5.4 Анализ арматуры проводят по потенциально возможным конструктивным отказам ее узлов и деталей, с учетом их критичности. Перечень потенциально возможных отказов арматуры и их нумерация по видам приведены в приложении А.

5.5 Критичность отказа арматуры определяют в зависимости от тяжести его возможных последствий на месте предполагаемой эксплуатации. Качественная классификация тяжести последствий отказов арматуры в процессе выполнения АВПКО приведена в приложении Б.

5.6 Методика проведения АВПКО (АВПО)

5.6.1 АВПО применяют, когда отказы арматуры не являются критическими, АВПКО — при возможности критических отказов арматуры.

5.6.2 Для оценки рассматриваемого конструктивного исполнения проектируемой арматуры следует построить функциональную схему ее потенциально возможных отказов следующим образом:

- уровень R1 — состояние арматуры в целом (работоспособное, неработоспособное) или событие (отказ/предельное состояние), или отсутствие отказа/предельного состояния;

- уровень R2 — события, состояния, функции, от которых зависит 1-й уровень — виды отказов и предельных состояний (потеря герметичности по отношению к внешней среде, в затворе, невыполнение функции «открытие—закрытие» и др.);

- уровень R3 — детали (узлы) арматуры, детали, не входящие в состав узла, от которых зависит безотказность на 2-м уровне;

- уровень R4 — детали, входящие в состав узлов, узлы арматуры, от безотказности которых зависит безотказность на 3-м уровне.

При построении функциональной схемы отказов рекомендуется использовать следующие обозначения:


— состояние, событие, функция (нет достаточной исходной информации для оценки конструктивной надежности);


— деталь (узел), (детали, узлы) арматуры (есть исходная информация для оценки конструктивной надежности);


— «и» (знак зависимости — «зависимое событие»);


— «не» (знак зависимости — «независимое событие»).

5.6.3 Пример функциональной схемы отказов изделия (иллюстрационный) приведен на рисунке 1.

5.6.4 Основные допущения, принимаемые при анализе:

- отказы изделия являются следствием отказов составляющих его деталей, узлов и комплектующих элементов;

- одинаковые детали (узлы) имеют одинаковую интенсивность отказов;

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

При проведении анализа должны быть оговорены и все другие принимаемые допущения, возникшие в связи со спецификой арматуры, условиями эксплуатации.

5.6.5 Для проведения анализа рекомендуется заполнить таблицу 3. В таблицу 3 вносят данные, характеризующие потенциально возможные отказы деталей (узлов) арматуры, включаемых в схему, с учетом сведений о возможных причинах возникновения отказов, наличии необходимой исходной информации для оценки конструктивной надежности.

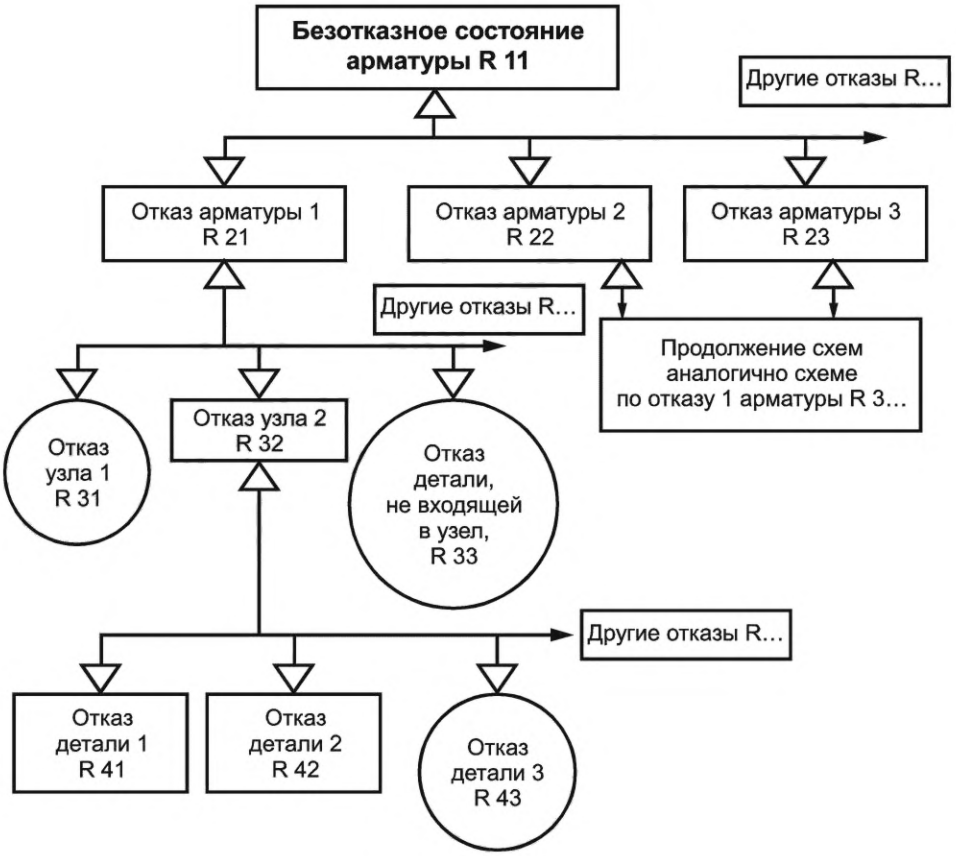

Рисунок 1 — Схема отказов изделия

Таблица 3 — Характеристика возможных отказов деталей (узлов) арматуры (иллюстрационная форма)

Вид возможного отказа арматуры	Наименование детали (узла)	Обозначение на схеме на рисунке 1	Причина возможного отказа арматуры	Критичность отказа	Исходная информация (критерии) для оценки конструктивной надежности в баллах*							
					Выбор материалов	Расчеты	Выбор технологических процессов	Методы контроля	Информация по НД и данным эксплуатационной статистики по конструктивным отказам	Результаты испытаний макетов, опытных образцов	Требования к условиям эксплуатации	Сумма баллов детали (узла)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Потеря герметичности по отношению к внешней среде	Корпус, крышка		Разрушение	КР								
			Потение	НКР								
	Сильфон		Разрушение всех слоев	КР								
	Дублирующий сальник		Течь	КР								
2												
Сумма баллов изделия												
* Количество баллов от 1 до 3 начисляют по таблице 4.												

5.6.6 При проведении анализа должны быть выполнены следующие этапы процедуры для каждой детали (узла) конструкции:

а) определение видов отказов;

б) конструктивная причина возможного отказа арматуры.

В числе возможных конструктивных причин возникновения отказа учитывают:

- разрушение детали (узла);
- изменение формы (размеров) детали;
- нарушение плотности по отношению к внешней среде деталей, находящихся под давлением рабочей среды;
- изменение свойств материалов деталей под воздействием параметров рабочей, окружающей среды и других внешних воздействий;

в) критичность отказа.

В рамках проводимого анализа под критическим отказом детали (узла) понимается событие, приводящее к прекращению выполнения изделием своего функционального назначения (потеря работоспособного состояния), безотносительно к возможной тяжести последствий в процессе эксплуатации, как следствие этих отказов.

К критическим отказам могут быть отнесены: разрушение деталей (узлов), изменение формы, состояния, приводящее к нарушению функции перемещения запирающих (регулирующих) элементов арматуры, функции герметичности по отношению к внешней среде, герметичности в затворе и др.;

г) выбор материала (графа 6 таблицы 3):

1) использование при выборе материала полной информации о следующих показателях:

- характеристиках рабочих сред (степени коррозионных свойств, составе, температуре);
- внешних воздействующих факторах (состав, влажность, температура окружающей среды, вибрация, удар, сейсмические воздействия);
- электромагнитной совместимости материалов сопрягаемых деталей:

2) использование на основании информации по пункту 1:

- НД государственного или ведомственного уровня, разрешающих применение данного материала на заданных параметрах;
- результатов НИОКР, подтверждающих возможность применения данного материала на заданных параметрах и согласованных в установленном порядке (при отсутствии материала в НД);

д) расчеты (графа 7 таблицы 3):

- установление полного перечня необходимых расчетов (силовой, прочностной, гидравлический, надежности и др.);
- выполнение расчетов по верифицированным методикам;

е) выбор технологических процессов (графа 8 таблицы 3):

- технологические процессы (формообразование, механическая обработка, сварка, термообработка и др.) должны обеспечивать требуемые характеристики (свойства) деталей (узлов);
- технологические процессы следует выбирать на основе действующих НД, утвержденных в установленном порядке стандартов организаций, регламентов, верифицированных методик и др.;

ж) методы контроля и испытаний в процессе производства (графа 9 таблицы 3):

- установление для каждой детали (узла) перечня характеристик (свойств) для включения в КД, подлежащих контролю (контроль размеров, свойств материала, сварных соединений, режимов термообработки и др.), виды испытаний, в т. ч. изделия в целом;
- выполнение контроля и испытаний в соответствии с действующими НД;

и) информация по конструктивным отказам детали (узла, изделия в целом) по данным НД и данным эксплуатационной статистики (графа 10 таблицы 3):

- данные о значениях показателей конструктивной надежности, безопасности, детали (узла), приводимые в НД, стандартах организаций и др.;
- данные эксплуатационной статистики применительно к рассматриваемой детали (узлу, изделию в целом) (рекламации, результаты работ по продлению ресурса арматуры, авторскому надзору, экспертизе и др.) на оговоренных ТЗ рабочих параметрах эксплуатации арматуры и показателей ее надежности (срока службы, ресурса).

Примечание — Отсутствие информации о конструктивных отказах детали (узла, изделия в целом) при наличии достоверной информации по эксплуатации аналогичных деталей (узлов, изделий в целом) является свидетельством конструктивной надежности рассматриваемой детали (узла, изделия в целом);

- данные эксплуатационной статистики должны основываться на достоверных результатах работ, проводимых в соответствии с действующими НД, и с оформлением результатов протоколами (актами, отчетами, экспертными заключениями), утвержденными в установленном порядке;

к) результаты испытаний макетов, опытных образцов (графа 11 таблицы 3):

- сведения о конструктивных отказах деталей (узлов), зафиксированных в процессе испытаний специально изготовленных макетов или в составе опытных образцов арматуры.

Примечания

1 В случае, если по результатам испытаний приняты эффективные меры по устранению причины отказа, он в проводимом анализе не учитывается.

2 Отсутствие информации о конструктивных отказах детали (узла, макета, изделия в целом) при наличии достоверной информации по результатам испытаний аналогичных деталей (узлов, макетов, изделий в целом), является свидетельством конструктивной надежности рассматриваемой детали (узла, изделия в целом);

- информация об отказах должна основываться на оформленных в установленном порядке результатах испытаний (протоколах, актах, отчетах и др.).

При сборе и анализе информации по конструктивным отказам детали (узла, изделия в целом) по данным эксплуатационной статистики и результатам испытаний по перечислениям и) и к) рекомендуется использовать ГОСТ Р 27.013—2019 (раздел 8 и подраздел 9.2);

л) требования к условиям эксплуатации (графа 12 таблицы 3).

В ЭД (РЭ) должны быть указаны необходимые требования, обеспечивающие характеристики (свойства) деталей (узлов), изделия в целом в процессе эксплуатации, в том числе:

- требования к проведению монтажа;
- содержание и сроки проведения технического обслуживания и всех видов ремонта;
- ограничения, предупреждения, запреты на действия обслуживающего персонала, которые могут привести к отказу детали (узла, изделия в целом), с учетом специфики условий эксплуатации, рабочих сред и др.;
- информация о необходимости принятия мер проектантом системы или эксплуатирующей организацией по снижению тяжести последствий критического отказа изделия, связанного с отказом рассматриваемой детали (узла), в связи с невозможностью конструктивного обеспечения требуемой ее безотказности.

Примечание — Приведенные в разделе требования имеют индивидуальный характер по отношению к каждой конкретной детали (узлу) и часть из них может не требоваться, т. к. может относиться к изделию в целом. Решение о необходимости принятия тех или иных требований непосредственно к рассматриваемой детали (узлу) принимается разработчиком, в процессе проводимого анализа, исходя из возможности отказа детали (узла), в связи с нарушениями условий эксплуатации, оговоренными в перечислении л).

5.6.7 Анализ имеющейся информации для оценки конструктивной надежности (далее — анализ)

5.6.7.1 В основу анализа принимается балльная оценка достаточности имеющейся исходной информации в соответствии с 5.6.6.

5.6.7.2 Количество баллов (от 1 до 3) начисляется по соответствующим графам таблицы 3 для каждого возможного отказа каждой детали (узла).

5.6.7.3 Зависимость количества начисляемых баллов и принимаемых решений по величинам ВБР (интенсивности отказов) деталей (узлов), принимаемых в качестве исходных значений для расчета надежности изделия в целом, от достаточности имеющейся информации приведена в таблице 4.

Таблица 4 — Балльная оценка имеющейся информации

Номер графы таблицы 3	Наличие информации для оценки конструктивной надежности	Количество баллов	Возможное решение по дальнейшим действиям
6—12	Имеется информация по всем позициям, предусмотренным 5.6.6 для каждой графы	1	Деталь (узел) отвечает требованиям обеспечения заданной конструктивной надежности. Суммарное число баллов — 5 (баллы по графам 6 и 7 либо 10 и 11 в расчет не принимаются)
6, 7	Имеется полная информация по позициям, оговоренным в 5.6.6 г) и д) при отсутствии информации по графам 10 и 11	1	Деталь (узел) отвечает требованиям обеспечения заданной конструктивной надежности. Суммарное число баллов — не более 5 (баллы по графам 10 и 11 в расчет не принимаются)

Продолжение таблицы 4

Номер графы таблицы 3	Наличие информации для оценки конструктивной надежности	Количество баллов	Возможное решение по дальнейшим действиям
6, 7	Отсутствует полная информация по позициям, оговоренным в 5.6.6 г) и д) при наличии полной информации по графам 10 и/или 11	3	Использовать имеющиеся положительные результаты работ по графам 10 и/или 11 с установлением количества баллов, равного 1. Суммарное число баллов — не более 5 (баллы по графам 6 и 7 в расчет не принимаются)
6, 7	Отсутствует полная информация по позициям, оговоренным в 5.6.6 г) и д) при отсутствии полной информации по графам 10 и 11	3	Принять в графе 13 суммарное число баллов 15. Провести дополнительные работы в соответствии с позициями граф 10 и/или 11. В случае невозможности получения требуемой информации или получения отрицательных результатов работ в соответствии с позициями граф 10 и/или 11, установить количество баллов для данной детали (узла), равное 15
8	Отсутствует полная информация о выполнении условий по позициям, оговоренным в графе	2	Обеспечить полный учет перечня необходимых технологических процессов, отработку и утверждение в установленном порядке технологического процесса на предприятии-изготовителе, обеспечивающего заданные требования к детали (узлу), с установлением количества баллов, равного 1
9	Отсутствует полная информация о выполнении условий по позициям, оговоренным в графе	2	Обеспечить полный учет перечня необходимых контрольных операций, отработку и утверждение в установленном порядке методов контроля на предприятии-изготовителе, обеспечивающих заданные требования к детали (узлу), с установлением количества баллов, равного 1
10	Показатели надежности, приводимые в НД, стандартах организаций и других НД, обеспечивают требования ТЗ к арматуре в целом при наличии достоверной информации по конструктивным отказам при эксплуатации	1	В расчете величина ВБР (интенсивность отказов) принимается с учетом имеющейся информации по конструктивным отказам при эксплуатации аналогичных деталей (узлов), изделий в целом
10	Показатели надежности, приводимые в НД, стандартах организаций и других НД, обеспечивают требования ТЗ к арматуре в целом при отсутствии достоверной информации по конструктивным отказам при эксплуатации аналогичных деталей (узлов), изделий в целом	1	Деталь (узел) отвечает требованиям обеспечения заданной конструктивной надежности. Суммарное число баллов — 7. В расчете величина ВБР (интенсивность отказов) принимается в соответствии с показателями надежности, приводимыми в НД, стандартах организаций и других НД
10	Показатели надежности, приводимые в НД, стандартах организаций и других НД, не обеспечивают требования ТЗ к арматуре в целом при наличии достоверной информации по конструктивным отказам при эксплуатации аналогичных деталей (узлов), изделий в целом	1	Деталь (узел) отвечает требованиям обеспечения заданной конструктивной надежности. Суммарное число баллов — 7. В расчете величина ВБР (интенсивность отказов) принимается по имеющейся информации по конструктивным отказам при эксплуатации аналогичных деталей (узлов), изделий в целом
10	Показатели надежности, приводимые в НД, стандартах организаций и других НД, не обеспечивают требования ТЗ к арматуре в целом при отсутствии достоверной информации по конструктивным отказам при эксплуатации аналогичных деталей (узлов), изделий в целом	3	Проведение испытаний деталей (узлов) отдельно или в составе арматуры для подтверждения недостающей информации по позициям граф 6—9, с установлением количества баллов, равного 1. В расчете величина ВБР (интенсивность отказов) принимается по имеющейся информации по конструктивным отказам при испытаниях аналогичных деталей (узлов), изделий в целом

Окончание таблицы 4

Номер графы таблицы 3	Наличие информации для оценки конструктивной надежности	Количество баллов	Возможное решение по дальнейшим действиям
11	Отсутствие информации о результатах испытаний или наличие данных о неудовлетворительных результатах испытаний деталей (узлов) отдельно или в составе изделия	3	Проведение (проведение повторных) испытаний деталей (узлов) отдельно или в составе арматуры для подтверждения недостающей информации по позициям граф 6—9, с установлением количества баллов, равного 1. В расчете величина ВБР (интенсивность отказов) принимается по имеющейся информации по конструктивным отказам при испытаниях аналогичных деталей (узлов), изделий в целом
12	Отсутствие необходимых* требований к условиям эксплуатации детали (узла) отдельно или в составе изделия в соответствии с положениями 5.6.6 л)	3	Введение необходимых требований, с установлением количества баллов, равного 1
* К необходимым требованиям относятся требования, связанные с наличием непосредственного влияния условий монтажа и эксплуатации на работоспособность данной детали (узла).			

5.6.7.4 Заполнение таблицы 3 осуществляют для всех деталей (узлов) изделия, в соответствии с информацией для оценки их конструктивной надежности с указанием построчно числа баллов по каждой графе, исходя из указаний таблицы 4.

5.6.7.5 Для каждой детали (узла) осуществляется оценка количества баллов с подведением результата в графе 13 таблицы 3. Возможные варианты принятия решения по дальнейшим действиям оговорены в таблице 4.

5.6.7.6 По завершению заполнения графы 13 таблицы 3 суммируется результирующее количество баллов для оценки надежности изделия в целом.

Положительным считается результат суммарного числа баллов, меньше или равный величине 7N,

где 7 — число критериев анализа информации (графы 6—12 таблицы 3);

N — число деталей (узлов), принятых к рассмотрению (таблица 3).

5.6.7.7 В случае, если суммарное число баллов превышает величину 7N, принимаются решения по дальнейшим действиям, оговоренным в таблице 4, либо по пересмотру конструктивного исполнения проектируемого изделия.

5.6.7.8 Процедуру анализа по 5.6.7 повторяют до получения суммарного числа баллов, не превышающего величину 7N.

5.6.7.9 По результатам анализа составляют отчет, включающий в себя все выводы и рекомендации на проектирование арматуры.

5.6.7.10 Анализ может обновляться по мере дальнейшего продвижения проекта (этапы согласования документации с заказчиком, приемочных испытаний и др.), связанных с изменением конструкции арматуры. В конце этапа проектирования анализ используют для обоснования совершенства конструкции и демонстрации соответствия разработанной арматуры установленным требованиям заказчика (пользователя), требованиям стандартов, инструкций и обязательным требованиям.

Информацию, полученную на основе анализа, используют при разработке ТУ, РЭ, программ и методик контроля, испытаний и другой документации (производственной и эксплуатационной).

5.6.7.11 В случае, если итоговая процедура анализа по 5.6.7 не дала необходимого результата и суммарное число баллов превышает величину 7N, в отчете должны быть указаны позиции, по которым не получены необходимые результаты с тем чтобы учесть это при выборе метода расчета показателей надежности и безопасности проектируемой арматуры по 6.5.

5.6.7.12 Выбранное по результатам качественного анализа оптимальное конструктивное исполнение (блок-схема), отвечающее требованиям надежности и безопасности, принимается за основу для количественной оценки (расчета) показателей надежности и безопасности проектируемой арматуры.

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 деталей (узлов) и, при необходимости, их сопоставление с требуемыми показателями;
- оформление результатов расчета.

6.2 Расчет надежности и безопасности арматуры на этапе проектирования проводят, исходя из возможных конструктивных 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 (см. раздел 5).

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 выбирает исполнитель, исходя из требований ТЗ на проектирование:

- если арматура состоит из узлов и деталей, информация о безотказности которых имеется, то расчет рекомендуется проводить методом, указанным в 7.1;
- если информация о безотказности узлов или деталей новой арматуры отсутствует, то расчет рекомендуется проводить методом, указанным в 7.2.

6.6 Количественные значения ВБР (интенсивности отказов) основных деталей (узлов), комплектующих арматуру, принимают, как правило, на основании результатов качественного анализа, оговоренного в разделе 5.

6.7 В случае если величина ВБР (интенсивности отказов) детали (узла), приведенная в технической документации, не обеспечивает требуемую по ТЗ величину ВБР изделия в целом, то значение ВБР (интенсивности отказов) определяет проектант арматуры с учетом наличия или отсутствия достоверных статистических данных официальных источников информации по эксплуатации аналогичных узлов и деталей (результатов испытаний), по конструктивным отказам детали (узла) на оговоренных в ТЗ рабочих параметрах эксплуатации арматуры и с учетом показателей ее надежности (срока службы, ресурса).

Порядок принятия решений оговорен в таблице 4.

Примечание — Информация о безотказности отдельных деталей (узлов) арматуры приведена в приложении В.

6.8 Полученную расчетную ВБР (интенсивность отказов) арматуры сравнивают с требуемой (заданной в ТЗ).

6.9 Если расчетная ВБР арматуры не ниже (интенсивность отказов не выше) заданной в техническом задании ВБР (интенсивности отказов), то детали (узлы) могут рассматриваться в качестве деталей (узлов) проектируемой арматуры.

6.10 При невозможности обеспечения требуемой надежности и безопасности арматуры на этапе проектирования должна быть дана соответствующая информация в ЭД, с тем чтобы разработчиком проекта системы, куда входит арматура, могли быть приняты дополнительные меры по обеспечению требуемой надежности и безопасности системы с учетом недостаточной конструктивной надежности и безопасности арматуры путем изменения в меньшую сторону требуемых по ТЗ назначенных показателей, принятия организационных мероприятий по обеспечению допустимого риска за счет мер по уменьшению тяжести последствий в случае отказа арматуры.

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 Дополнительные рекомендации по расчету и оценке надежности и безопасности при проектировании арматуры АС

6.12.1 Анализ надежности и безопасности при проектировании арматуры АС следует проводить с учетом отказов по общей причине.

6.12.2 ВБР, задаваемая для арматуры в КД, должна исчисляться по совокупности критических и некритических конструктивных отказов. По требованию заказчика арматуры в КД может быть указана ВБР, исчисленная только по критическим отказам.

6.12.3 Для арматуры систем безопасности и систем нормальной эксплуатации доверительную вероятность для расчета нижней доверительной границы вероятности безотказной работы принимают в соответствии с [2].

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

7 Методы расчета показателей безотказности

7.1 Метод расчета ВБР арматуры по критериям отказов

7.1.1 Основные допущения, принимаемые при расчете:

- отказы деталей (узлов) являются событиями случайными и независимыми;
- показатели безотказности деталей (узлов) 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;
- одинаковые детали (узлы) имеют одинаковую интенсивность отказов;
- интенсивность отказов принимают постоянной, если из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа.

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

7.1.2 Исходными данными для расчета являются:

- ТЗ;
- сборочный чертеж арматуры и спецификация;
- перечень возможных отказов и критериев предельных состояний арматуры;
- 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.];
- ВБР (интенсивности отказов) узлов и деталей арматуры, полученные в результате качественной оценки надежности и безопасности арматуры по разделам 5 и 6.

7.1.3 Методика расчета ВБР

7.1.3.1 Для оценки ВБР арматуры следует построить функциональную схему отказов арматуры, как указано в 5.6.2 и 5.6.3.

7.1.3.2 ВБР арматуры $P_{11}(t)$ в течение заданного периода t рассчитывают по формуле

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

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

j (от 1 до k) — вид (критерий) отказа;

k — количество видов (критериев) отказов.

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

7.1.3.3 Если события или детали (узлы) арматуры i+1 уровня связаны знаком «и», то вероятность безотказной работы i-го уровня по j-му критерию рассчитывают по формуле

$$P_{ij}(t) = \prod_{l=1}^{n} P_{i+1,l}(t), \quad (2)$$

где l (от 1 до n) — события или детали (узлы) i + 1 уровня, влияющие на наступление события i-го уровня по схеме.

Если события или детали (узлы) арматуры i+1 уровня связаны знаком «или», то вероятность безотказной работы i-го уровня по j-му критерию рассчитывают по формуле

$$P_{ij}(t) = 1 - \prod_{l=1}^{n} \left(1 - P_{i+1,l}(t)\right). \quad (3)$$

Если часть событий или деталей (узлов) связаны знаком «или», а другая часть — знаком «и», то вероятность безотказной работы i-го уровня определяется с применением формул (2), (3) и с учетом группировки событий или деталей (узлов) по связям в схеме соединения.

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

7.1.3.4 ВБР в течение заданного периода t определяют для каждого события, состояния, обозначенного на схеме прямоугольником.

Расчет проводят от нижнего уровня к верхнему уровню.

ВБР P_{ij} в течение заданного периода t нужно определять исходя из данных об интенсивностях отказов (ВБР) деталей (узлов) арматуры, а также данных, приведенных в приложении В.

7.1.3.5 ВБР одной детали (узла) рассчитывают по формуле

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t_i}, \quad (4)$$

где λ_i — интенсивность отказов детали (узла) за период эксплуатации (в 1/цикл или 1/час);

t_i — наработка арматуры в заданный период (в циклах или часах).

7.1.3.6 Если известна ВБР i-й детали (узла) $P(t^*)$ за фиксированный срок или наработку (t^*), то ВБР одной детали (узла) за другой период рассчитывают по формуле

$$P_i(t) = e^{\frac{t}{t^*}\ln P_i(t^*)}. \quad (5)$$

7.1.3.7 Если разнотипные детали (узлы) в арматуре или i-й группе деталей (узлов) соединены последовательно и детали (узлы) одного типа имеют одну продолжительность работы t_i или наработку в циклах T_i или ВБР за время t^*, то расчет ВБР этой группы деталей (узлов) (арматуры) проводят в зависимости от вида исходной информации, соответственно, по формуле

$$P_i(t) = e^{-\sum_{i=1}^{k} m_i \lambda_i t_i} \quad (6)$$

или

$$P_j(t) = e^{\sum_{i=1}^{k} m_i \frac{t}{t^*}\ln P_i(t^*)}, \quad (7)$$

где m_i — число деталей (узлов) i-го типа в группе деталей (узлов) или в арматуре;

i от 1 до k;

k — число типов деталей (узлов) в группе или арматуре.

7.1.3.8 Перечень возможных отказов арматуры приведен в приложении А.

7.2 Метод расчета ВБР арматуры по прочности, нагрузке и параметрам

7.2.1 Основные допущения, применяемые при расчете:

- отказы изделий являются случайными и независимыми событиями;
- распределение значений параметров работоспособности изделий и механических свойств конструкционных материалов подчиняются нормальному закону распределения отказов.

7.2.2 Исходными данными для расчета являются:

- ТЗ;
- перечень возможных отказов и критериев предельных состояний;
- предельные значения параметров функционирования, определяющие отказы или соответствующие критериям предельных состояний;
- силовой и прочностной расчет арматуры;
- справочные данные о коэффициентах вариации соответствующих свойств конструкционных материалов;
- ВБР (интенсивности отказов) узлов и деталей арматуры, полученные в результате качественной оценки надежности и безопасности арматуры по разделам 5 и 6.

7.2.3 Методика расчета

7.2.3.1 ВБР арматуры в течение периода t рассчитывают по формуле

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t), \quad (8)$$

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.

7.2.3.2 Расчет вероятности $P_1(t)$

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

$$P_1(t) = \min P_{1i}(t), \quad (9)$$

где $P_{1i}(t)$ — вероятность неразрушения i-й детали (узла) арматуры в течение периода t.

Наиболее слабую деталь (узел) определяют 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 в деталях (узлах) рассматриваемой конструкции или прототипа.

Величину $P_{1i}(t)$ для деталей рассчитывают по формуле

$$P_{1i} = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{k_{ri}^2 \cdot \varphi_i^2 + k_{si}^2}}\right), \quad (10)$$

где $F(\ldots)$ — функция нормального распределения, определяемая по ГОСТ Р 50779.21—2004 (пункт А.1 приложения А);

φ_i — коэффициент запаса прочности, рассчитываемый по формуле

$$\varphi_i = \frac{M_{ri}}{M_{si}}, \quad (11)$$

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

k_{ri}, k_{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 определяют, как произведение вероятностей неразрушения деталей по формуле

$$P_{1i\text{узла}}(t) = \prod_{j=1}^{n} P_{1ij}(t), \quad (12)$$

где P_{1ij} — вероятность неразрушения j-й детали узла при действии i-й нагрузки, определяемая по формуле (10).

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

$$P_{1i\text{узла}}(t) = \min P_{ij}(t). \quad (13)$$

7.2.3.3 Для расчета величин P_{1i} рекомендуется заполнять таблицу Г.1, при этом:

- значения напряжений принимаются по результатам прочностного расчета узлов и деталей арматуры;
- значения коэффициента вариации прочности k_{ri} определяют по таблице Д.1, исходя из материала детали;
- значения коэффициента вариации нагрузки k_{si} определяют по таблице Д.1, исходя из вида нагрузки. Если нет данных о его величине, то значение k_{si} выбирают из интервала 0,2—0,3;
- значения функции нормального распределения $F(x)$ определяют по ГОСТ Р 50779.21—2004 (пункт А.1 приложения А).

7.2.3.4 При выборе для расчета $P_{1i}(t)$ значений расчетного напряжения M_{si} и показателя прочности M_{ri} рекомендуется руководствоваться следующим:

- для корпусных и внутренних деталей арматуры, расчетным напряжением M_{si} которых является напряжение растяжения—сжатия, показателем M_{ri} является предел прочности материала при расчетной температуре. Если для перечисленных выше деталей эксплуатация происходит при температурах, вызывающих ползучесть материала, то при определении показателя прочности M_{ri} дополнительно учитывают предел длительной прочности и выбирают из них минимальную величину для расчета вероятности разрушения;

- для корпусных и внутренних деталей арматуры, расчетным напряжением M_{si} которых является напряжение изгиба или суммарное напряжение растяжения—сжатия и изгиба, показателем M_{ri} является предел текучести материала при расчетной температуре. Если эксплуатация происходит при температурах, вызывающих ползучесть материала, то при определении показателя прочности M_{ri} дополнительно учитывают предел длительной прочности и выбирают из них минимальную величину для расчета вероятности разрушения;

- для корпусных и внутренних деталей арматуры, расчетным напряжением M_{si} которых является напряжение среза и/или кручения, а также суммарное напряжение среза и/или кручения с изгибом и/или растяжением—сжатием, показателем M_{ri} является половина предела прочности материала при расчетной температуре. Если эксплуатация происходит при температурах, вызывающих ползучесть материала, то при определении показателя прочности M_{ri} дополнительно учитывают половину предела длительной прочности и выбирают из них минимальную величину для расчета вероятности разрушения;

- для крепежа, расчетным напряжением M_{si} которого является напряжение растяжения—сжатия, показателем M_{ri} является предел текучести материала при расчетной температуре, при достижении которого может произойти разгерметизация разъемного соединения или потеря работоспособности узла из-за появления остаточной деформации крепежа. Если эксплуатация происходит при температурах, вызывающих ползучесть материала, то при определении показателя прочности M_{ri} дополнительно учитывают предел длительной прочности и выбирают из них минимальную величину для расчета вероятности разрушения;

- для крепежа, расчетным напряжением M_{si} которого является напряжение среза, показателем M_{ri} является половина предела прочности материала при расчетной температуре. Если эксплуатация происходит при температурах, вызывающих ползучесть материала, то при определении показателя прочности M_{ri} дополнительно учитывают половину предела длительной прочности и выбирают из них минимальную величину для расчета вероятности разрушения.

7.2.3.5 Расчет вероятности $P_2(t)$

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

$$P_2(t) = \min P_{2j}(t), \tag{14}$$

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.

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

Величину $P_{2j}(t)$ определяют следующим образом:

- если параметр функционирования ограничен сверху

$$P_{2j}(t) = F\left(-\frac{1}{k_{yj}} + \frac{y_в}{k_{yj} \cdot y_j}\right), \tag{15}$$

- если параметр функционирования ограничен снизу

$$P_{2j}(t) = F\left(-\frac{y_н}{k_{yj} \cdot y_{yj}} + \frac{1}{k_{yj}}\right), \tag{16}$$

- если параметр функционирования имеет двухстороннее ограничение

$$P_{2j}(t) = F\left(\frac{y_в - y_н}{k_{yj} \cdot y_j}\right), \tag{17}$$

где $F(\ldots)$ — функция нормального распределения, определяемая по ГОСТ Р 50779.21—2004 (пункт А.1 приложения А);

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

y_j — ожидаемое среднее значение параметра, определяемое по результатам технических расчетов или заданное;

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

Для расчета значений $P_{2j}(t)$ заполняют таблицу Г.2, при этом:

- величину, ограничивающую значения параметра функционирования, принимают по НД или задает заказчик в ТЗ;
- значения коэффициента вариации параметра функционирования k_{yj} определяют по таблице Д.1;
- значение функции нормального распределения $F(x_j)$ определяют по ГОСТ Р 50779.21—2004 (пункт А.1 приложения А);
- значения вероятности P_{2j} определяют по формулам (15)—(17).

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

7.3 Расчет наработки на отказ

7.3.1 Наработку на отказ арматуры $T^{о}_{изд}$ рассчитывают по формуле

$$\frac{1}{T^{о}_{изд}} = \sum_{i=1}^{r} \frac{1}{T_i}, \tag{18}$$

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).

7.3.2 Значения T_i рассчитывают по формуле

$$T_i = \frac{1}{\lambda_i}, \tag{19}$$

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.

7.3.3 Допускается определение T_i по другим формулам, если они приведены в НД на узлы и детали.

7.3.4 Величина $T^{о}_{изд}$ для регулирующей арматуры должна измеряться в часах, для остальной арматуры — в часах и циклах.

8 Методы расчета показателей долговечности

8.1 Расчет срока службы

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

$$C_п = \min C_j, \tag{20}$$

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

8.1.2 Величину C_j рассчитывают по формуле

$$C_j = \frac{1}{\lambda_j}, \tag{21}$$

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 НД на узлы и детали, лимитирующие долговечность арматуры, исходя из максимально допустимого износа арматуры, скорости коррозии и (или) изнашивания применяемых материалов.

8.2 Расчет ресурса

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

$$T_{р.п} = 8000\ C_п, \quad (22)$$

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 рассчитывают по формуле

$$T_{р.п} = N \cdot C_п, \quad (23)$$

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 (22) и (23) 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 $C_н$ рассчитывают по формуле

$$C_н = \frac{C_п}{n}, \quad (24)$$

где $C_п$ — полный срок службы арматуры, определяемый по формуле (20);

n — коэффициент запаса по сроку службы.

Величину n выбирают 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 согласовывают, при необходимости, с заказчиком. По статистическим данным о надежности арматуры рекомендуемое значение n выбирают из ряда 1—4, с учетом выполнения 9.1.3—9.1.5.

Рекомендуемые значения коэффициента запаса приведены в таблице 5.

Таблица 5 — Рекомендуемые значения коэффициента запаса

Коэффициент запаса	Количество критических отказов у аналогичных изделий от общего количества эксплуатируемых аналогичных изделий, %
1	0
2	1—5
3	5—10
4	10—15
Арматура требует доработки	Более 15

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, исчисленную по критическим отказам за назначенный срок службы, определяют по методике, указанной в 7.1, с учетом того, что в расчет принимаются только детали (узлы) арматуры, отказы которых приводят к критическому отказу арматуры, а заданным периодом эксплуатации является назначенный срок службы.

9.1.5 Если близость ВБР к единице не удовлетворяет предъявляемым требованиям заказчика, величина назначенного срока службы должна быть уменьшена с проведением расчета ВБР 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 $T_{р.н}$ рассчитывают по формуле

$$T_{р.н} = \frac{T_{р.п}}{m}, \quad (25)$$

где m — коэффициент запаса по ресурсу (выбирают аналогично n в 9.1);

$T_{р.п}$ — полный ресурс арматуры, рассчитываемый по формулам (22) и (23).

9.2.3 Оценку назначенного ресурса проводят аналогично оценке назначенного срока службы (аналогично 9.1.3—9.1.5).

10 Требования к оформлению расчета

10.1 Расчет надежности и безопасности на этапе проектирования оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 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 деталей (узлов), 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

Таблица А.1 — Перечень потенциально возможных отказов арматуры

Номер вида отказа		Наименование вида отказа
1		Потеря герметичности по отношению к внешней среде по корпусным деталям
	1а	Разрушение, с выбросом рабочей среды в атмосферу
	1б	Потение, капельная течь, газовая течь
2		Потеря герметичности по отношению к внешней среде по сальниковому уплотнению:
	2а	Разрушение или утрата герметизирующих свойств сальника, с выбросом рабочей среды в атмосферу
	2б	Потеря герметичности в сальнике, не устранимая подтяжкой
3		Потеря герметичности по сильфонному уплотнению
4		Потеря герметичности в затворе сверх допустимых пределов
5		Потеря герметичности по отношению к внешней среде по неподвижным соединениям
	5а	Разрушение деталей соединений (узла), уплотнительной детали
	5б	Потеря герметичности, не устранимая подтяжкой
6		Невыполнение функций «открытие—закрытие»
7		Непредусмотренное регламентом выполнение функции «открытие—закрытие»
8		Несоответствие времени срабатывания, установленному в НД (для отсечной арматуры)
Примечание — Перечень отказов арматуры с учетом их критичности может уточняться в процессе проектирования в зависимости от условий ее эксплуатации.		

Приложение Б
(справочное)

Качественная классификация тяжести последствий отказа арматуры при выполнении АВПКО

Таблица Б.1 — Качественная классификация тяжести последствий отказа арматуры при выполнении АВПКО

Номер класса тяжести отказа	Наименование класса тяжести отказа	Описание последствия отказа для людей или окружающей среды
IV	Катастрофический	Вид отказа может привести к прекращению выполнения первичных функций системы и вызывает тяжелые повреждения системы и окружающей среды и/или гибель и тяжелые травмы людей
III	Критический	Вид отказа может привести к прекращению выполнения первичных функций системы и вызывает значительное повреждение системы и окружающей среды, но не представляет собой серьезной угрозы жизни или здоровью людей
II	Минимальный	Вид отказа может ухудшить выполнение функций системы без заметного повреждения системы или угрозы жизни или здоровью людей
I	Ничтожный	Вид отказа может ухудшить выполнение функций системы, но не вызывает повреждений системы и не создает угрозы жизни и здоровью людей

Приложение В
(справочное)

Показатели безотказности деталей (узлов) арматуры

В.1 Принимаемая в соответствии с 6.6 ВБР деталей (узлов), близкая к единице, должна обеспечивать ВБР изделия в целом, указанную в ТЗ.

При отсутствии информации, указанной в 6.7, рекомендуется в расчетах принимать значения ВБР, указанные в таблице В.1.

Таблица В.1 — ВБР деталей (узлов, соединений) арматуры

Наименование детали (узла, соединения)	Назначенный срок службы, лет или назначенный ресурс, циклов	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	8 лет	0,99
Прокладки уплотнительные из фторопласта-4 и композиционных материалов на его основе	10 лет	0,999
Сальниковые узлы	По КД	0,99
Узел затвора с уплотнением из фторопласта-4 и композиционных материалов на его основе	3000 циклов	0,999
Узел затвора с уплотнением из паронита и резины, с уплотнением «металл по металлу»	3000 циклов	0,99
Ходовые резьбовые пары	По КД	0,999
Пружины винтовые цилиндрические класса I	20000 циклов	0,999
Пружины винтовые цилиндрические класса II: а) из сталей 50ХФА и 60С2А	20000 циклов	0,99
б) из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н7Г10АМ3-ПД, ХН70МВЮ-ВД, ХН77ТЮР, сплава марок ВТ16, БрКМц3-1, БрБ2, Бр0Ц4-3	1000 циклов	
Сильфоны многослойные из сплава ВТ1-0: а) при температуре до 100 °С включ.	3000 циклов	0,95
б) при температуре от 100 °С до 200 °С включ.	1000 циклов	
Сильфоны многослойные металлические по ГОСТ Р 55019—2012 (подраздел 5.2)	ГОСТ Р 55019—2012 (таблица 2) для АС	0,99
	ГОСТ Р 55019—2012 (таблица 2) для общепромышленной арматуры	0,95
	ГОСТ Р 55019—2012 (таблица 5)	0,98

Примечания

1 Интенсивность отказов (в 1/ч или 1/цикл), при необходимости, может быть определена из уравнения $P(t) = e^{-\lambda t}$, исходя из указанного значения ВБР(P) и устанавливаемого значения назначенного ресурса (t) (в часах или циклах).

2 Значения ВБР узлов и деталей могут иметь и более высокие значения, в случае их использования на параметрах более легких, чем оговоренные в НД на эти детали (узлы), и подтверждения путем испытаний.

3 Значения ВБР для отличных от указанных в таблице В.1 назначенных сроков службы и ресурсов определяются перерасчетом, с использованием уравнения $P(t) = e^{-\lambda t}$.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Таблицы для расчета ВБР деталей и узлов арматуры методом по прочности, нагрузке и параметрам функционирования

Таблица Г.1 — Таблица для расчета ВБР (вероятности неразрушения) деталей и узлов арматуры методом по 7.2

Наименование детали и напряжения	Материал 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-м напряжении $P_{1i} = F\left(\frac{\varphi_i - 1}{\sqrt{k_{ri}^2 \cdot \varphi_i^2 + k_{si}^2}}\right)$

Таблица Г.2 — Таблица для расчета ВБР (вероятности невыхода параметров функционирования за допустимые границы) методом по 7.2

Параметр функционирования	Среднее значение параметра функционирования y_j	Ограничения параметра функционирования $[y_в, y_н]$	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 Д
(справочное)

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

Таблица Д.1 — Значения коэффициентов вариации для основных параметров функционирования и механических свойств конструкционных материалов

Наименование параметра	Значения коэффициентов вариации (k_{ri}, k_{si}, k_{yj})		
	минимальное	среднее	максимальное
Гидравлическое сопротивление	0,06	0,12	0,25
Время срабатывания	0,1	0,23	0,35
Утечка в затворе	0,08	0,27	0,39
Минимальное напряжение срабатывания	0,1	0,2	0,3
Ток (напряжение) отпускания электромагнитного привода	0,02	0,04	0,07
Минимальный ток (напряжение) срабатывания электромагнитного привода	0,01	0,04	0,07
Потребляемая мощность электромагнитного привода	0,04	0,06	0,09
Стабильность выходного давления регулятора давления	0,01	0,025	0,04
Давление начала открытия обратного клапана	0,10	0,15	0,20
Давление настройки предохранительного клапана	0,02	0,04	0,08
Давление полного открытия обратного, предохранительного клапана	0,02	0,03	0,04
Давление обратной посадки (давление закрытия) предохранительного клапана	0,03	0,05	0,07
Коэффициент пропускной способности регулирующих клапанов	0,10	0,25	0,40
Коэффициент расхода	0,08	0,18	0,32
Усилие выпрессовки золотника	0,10	0,15	0,20
Усилие состыковки разъемных деталей (узлов)	0,02	0,03	0,04
Предел прочности сталей	0,06	0,12	0,18
Предел прочности титановых сплавов	0,02	0,04	0,06
Предел прочности сплавов цветных металлов	0,042	0,12	0,21

Библиография

[1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 010/2011 — О безопасности машин и оборудования

[2] НП-068-05 — Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования

УДК 621.643.412:006.354 ОКС 23.060

Ключевые слова: арматура трубопроводная, проектирование, надежность, безотказность, расчет

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 09.06.2022. Подписано в печать 16.06.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,16.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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