ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71205— 2024 (ИСО 13628-7:2005)

Нефтяная и газовая промышленность

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ

Часть 7

Райзерные системы для заканчивания, ремонта скважин

(ISO 13628-7:2005, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Газпром морские проекты» (ООО «Газпром морские проекты») на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ФГБУ «Институт стандартизации»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность»

3 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 января 2024 г. № 20-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 13628-7:2005 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 7. Райзерные системы для заканчивания и ремонта скважин» (ISO 13628-7:2005 «Petroleum and natural gas industries — Design and operation of subsea production systems — Part 7: Completion/workower riser systems», MOD) путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 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

© ISO, 2005
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

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 2
3 Термины и определения 4
4 Основные положения 26
5 Функциональные требования 43
6 Проектные требования 68
7 Материалы и изготовление 97
8 Испытания 112
9 Маркировка, упаковка, хранение и транспортирование 116
10 Эксплуатация, обследование, техническое обслуживание, повторная оценка состояния и мониторинг 117
11 Документация 119
Приложение А (справочное) Стандартизация сопряжения райзера З/РС (для ПФА вертикального типа) 126
Приложение В (справочное) Режимы эксплуатации и общий анализ системы райзера 129
Приложение С (справочное) Расчет на усталость 145
Приложение D (обязательное) Методы оценки сопротивления материалов 169
Приложение Е (справочное) Пример расчета для проектирования труб под давлением 177
Приложение F (справочное) Руководство по поставке 180
Приложение G (справочное) Предварительное нагружение болтов 195
Приложение Н (справочное) Уплотнения 199
Приложение J (обязательное) Квалификация соединителей 201
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 208
Библиография 210

Введение

Настоящий стандарт разработан с целью совершенствования национальной нормативной базы Российской Федерации, обеспечивающей единый подход к проектированию и эксплуатации систем подводной добычи. Формирование комплекса стандартов для систем подводной добычи, в соответствии с основами национальной стандартизации и принципами гармонизации документов национальной системы стандартизации с международной, осуществляется на основе применения международных стандартов, отражающих передовой зарубежный опыт, лучшие мировые практики и современные методики проектирования.

При этом с целью повышения научно-технического уровня комплекса национальных стандартов, учета особенностей объектов и аспектов стандартизации, которые характерны для Российской Федерации, в том числе в силу ее климатических и географических факторов, а также для учета накопленного отечественного и зарубежного опыта проектирования, строительства и эксплуатации систем подводной добычи в период времени с момента ввода в действие применяемого международного стандарта, техническое содержание настоящего стандарта модифицировано по отношению к применяемому международному стандарту.

При разработке настоящего стандарта также использована модифицированная форма применения международного стандарта, которая определена необходимостью внесения технических отклонений, изменения структуры и их идентификации.

Настоящий стандарт устанавливает общие правила и принципы проектирования, которые следует соблюдать при проектировании, испытании и эксплуатации райзерных систем для заканчивания и ремонта скважин.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 13628-7:2005 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 7. Райзерные системы для заканчивания и ремонта скважин». При этом из стандарта исключены значения показателей в английской системе мер, в раздел 3 добавлены терминологические статьи.

В целях улучшения понимания пользователями некоторых положений настоящего стандарта, а также для учета требований российских нормативных правовых актов, нормативно-технических документов и отечественной специфики проектирования, строительства и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений, в текст внесены изменения и дополнения, выделенные курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ

Часть 7

Райзерные системы для заканчивания, ремонта скважин

Petroleum and natural gas industries.
Design and operation of subsea production systems.
Part 7. Completion/workover riser systems

Дата введения — 2024—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие правила и принципы проектирования, анализа, выбора материалов, изготовления, испытаний и эксплуатации райзерных систем, используемых для заканчивания и ремонта скважин с подводным расположением устья. Настоящий стандарт применим для вновь создаваемых райзерных систем, а также для задач модернизации и эксплуатации существующих систем и их повторного использования.

Настоящий стандарт применим к райзерным системам, изготавливаемым из низколегированных углеродистых сталей, и не распространяется на райзерные системы, изготавливаемые из специальных материалов, таких как титан и композитные материалы.

Настоящий стандарт устанавливает общие правила и принципы проектирования в отношении следующего оборудования:

- секции райзера;
- соединители;
- системы управления ремонтом скважин;
- палубные испытательные фонтанные арматуры;
- натяжные рамы палубной испытательной фонтанной арматуры;
- нижний узел-превентор райзера для ремонта скважины;
- клапан лубрикатор;
- стопорный клапан;
- испытательные секции в составе колонны для спуска;
- срезные переводники;
- системы ориентации трубной головки;
- вертлюги;
- циркуляционные шланги затрубного пространства;
- спайдеры райзера;
- хомуты шлангокабелей;
- инструменты для монтажа и испытаний;
- инструменты для спуска колпака подводной фонтанной арматуры.

Издание официальное

Настоящий стандарт не применим к следующему оборудованию:

- трубные головки;
- внешние и внутренние колпаки подводной фонтанной арматуры;
- инструменты для спуска трубной головки;
- расположенное на поверхности оборудование для применения гибких труб;
- расположенное на поверхности оборудование для проведения работ с помощью канатной техники;
- перемычки палубной испытательной фонтанной арматуры для глушения и эксплуатации скважин.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 9.307 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля

ГОСТ 25.101 Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов

ГОСТ 25.504 Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости

ГОСТ 25.506 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении

ГОСТ 25.507 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытания на усталость при эксплуатационных режимах нагружения. Общие требования

ГОСТ 1497 (ИСО 6892—84, СТ СЭВ 471—88) Металлы. Методы испытаний на растяжение

ГОСТ 6996 (ИСО 4136—89, ИСО 5173—81, ИСО 5177—81) Сварные соединения. Методы определения механических свойств

ГОСТ 7505 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски

ГОСТ 7512 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод

ГОСТ 8479 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия

ГОСТ 9651 (ИСО 783—89) Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах

ГОСТ 11150 Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах

ГОСТ 15150 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 17216 Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей

ГОСТ 18442 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования

ГОСТ 24507 Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии

ГОСТ 26069 Механизмы палубные и судовые устройства. Термины и определения

ГОСТ 28198 (МЭК 68-1-88) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство

ГОСТ 31446 (ISO 11960:2014) Трубы стальные обсадные и насосно-компрессорные для нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия

ГОСТ 31458 (ISO 10474:2013) Трубы стальные, чугунные и соединительные детали к ним. Документы о приемочном контроле

ГОСТ 31610.0 (IEC 60079-0:2011) Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования

ГОСТ 31841 (ISO 14693:2003) Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для подземного ремонта скважин. Общие технические требования

ГОСТ 31844 (ISO 13535:2000) Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование буровое и эксплуатационное. Оборудование подъемное. Общие технические требования

ГОСТ 32696 (ISO 11961:2008) Трубы стальные бурильные для нефтяной и газовой промышленности. Технические условия

ГОСТ 33259 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на номинальное давление до PN 250. Конструкция, размеры и общие технические требования

ГОСТ 33439 Металлопродукция из черных металлов и сплавов на железоникелевой и никелевой основе. Термины и определения по термической обработке

ГОСТ 34438.2 (ISO 10424-2:2007) Трубы бурильные и другие элементы бурильных колонн в нефтяной и газовой промышленности. Часть 2. Основные параметры и контроль резьбовых упорных соединений. Общие технические требования

ГОСТ ISO 898-1 Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 1. Болты, винты и шпильки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы

ГОСТ ISO 898-2 Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 2. Гайки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы

ГОСТ ISO 3183 Трубы стальные для трубопроводов нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия

ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ ISO 17636-1 Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 1. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением пленки

ГОСТ ISO 17636-2 Неразрушающий контроль сварных соединений. Радиографический контроль. Часть 2. Способы рентгено- и гаммаграфического контроля с применением цифровых детекторов

ГОСТ Р 51365 (ИСО 10423:2003) Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для бурения и добычи. Оборудование устья скважины и фонтанное устьевое оборудование. Общие технические требования

ГОСТ Р 53678—2009 (ИСО 15156-2:2003) Нефтяная и газовая промышленность. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при добыче нефти и газа. Часть 2. Углеродистые и низколегированные стали, стойкие к растрескиванию, и применение чугунов

ГОСТ Р 53679 (ИСО 15156-1:2001) Нефтяная и газовая промышленность. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при добыче нефти и газа. Часть 1. Общие принципы выбора материалов, стойких к растрескиванию

ГОСТ Р 53845 (ИСО 377:1997) Прокат стальной. Общие правила отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний

ГОСТ Р 54384 (ЕН 10020:2000) Сталь. Определение и классификация по химическому составу и классам качества

ГОСТ Р 55311 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Термины и определения

ГОСТ Р 56512 Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы

ГОСТ Р 58773—2019 (ИСО 19901-7:2013) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Системы позиционирования плавучих сооружений

ГОСТ Р 58904/ISO/TR 25901-1:2016 Сварка и родственные процессы. Словарь. Часть 1. Общие термины

ГОСТ Р 59304 Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Термины и определения

ГОСТ Р 59305 (ИСО 13628-1:2005) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 1. Общие требования и рекомендации

ГОСТ Р 59306 (ИСО 13628-10:2005) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 10. Технические условия на гибкую трубу многослойной структуры со связующими слоями

ГОСТ Р 59309 (ИСО 13628-2:2006) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 2. Гибкие трубные системы многослойной структуры без связующих слоев для подводного и морского применения

ГОСТ Р 71160—2023 (ИСО 13628-6:2006) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 6. Системы управления подводной добычей

ГОСТ Р 71204 (ИСО 13628-5:2009) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 5. Подводные управляющие шлангокабели

ГОСТ Р ИСО 148-1 Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания

ГОСТ Р ИСО 544 Материалы сварочные. Технические условия поставки присадочных материалов и флюсов. Тип продукции, размеры, допуски и маркировка

ГОСТ Р ИСО 2566-1 Сталь. Перевод значений относительного удлинения. Часть 1. Сталь углеродистая и низколегированная

ГОСТ Р ИСО 4287 Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности

ГОСТ Р ИСО 6507-1 Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения

ГОСТ Р ИСО 9000 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

ГОСТ Р ИСО 9606-1 Аттестационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали

ГОСТ Р ИСО 9712 Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала

ГОСТ Р ИСО 13533—2013 Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование буровое и эксплуатационное. Оборудование со стволовым проходом. Общие технические требования

ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация подводных эксплуатационных систем. Часть 4. Подводное устьевое оборудование и фонтанная арматура

ГОСТ Р ИСО 14732 Персонал, выполняющий сварку. Аттестационные испытания сварщиков-операторов и наладчиков для полностью механизированной и автоматической сварки металлических материалов

ГОСТ Р ИСО 15549 Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Основные положения

ГОСТ Р ИСО 15607 Технические требования к аттестации процедур сварки металлических материалов. Общие правила

ГОСТ Р ИСО 15609-1 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 1. Дуговая сварка

ГОСТ Р ИСО 15609-2 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 2. Газовая сварка

ГОСТ Р ИСО 15609-3 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 3. Электронно-лучевая сварка

ГОСТ Р ИСО 15609-4 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 4. Лазерная сварка

ГОСТ Р ИСО 15609-5 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 5. Контактная сварка

ГОСТ Р ИСО 15609-6 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Технические требования к процедуре сварки. Часть 6. Лазерно-дуговая гибридная сварка

ГОСТ Р ЕН 13018 Контроль визуальный. Общие положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (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 и определения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по *ГОСТ 26069, ГОСТ Р 55311, ГОСТ Р 58904, ГОСТ Р 59304*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **аварийный останов** (emergency shutdown): Управляемая последовательность закрытия барьерных элементов в аварийной ситуации, обеспечивающая безопасный перевод скважины в закрытое состояние, исключающая попадание скважинных флюидов в окружающую среду.

3.1.2 **аварийное отсоединение** (emergency quick-disconnect): Автоматическая реализация последовательности аварийного останова и последующего автоматического отсоединения райзера.

3.1.3 **анализ в частотной области** (frequency domain analisys): Метод динамического анализа, основанный на допущении возможности представления рассматриваемого неупорядоченного процесса в виде суперпозиции базовых регулярных процессов.

Примечание — Анализ в частотной области, как правило, проводят для линейных систем.

3.1.4 **анализ на усталость** (fatigue analysis): Типовой анализ усталостной долговечности, при проведении которого используют кривые распределения циклической долговечности и заданные значения коэффициентов использования.

3.1.5 **анализ предельных состояний** (limit analysis): Метод, используемый для расчета прочности компонента, изготовленного из идеального (жесткого) пластичного материала.

3.1.6 **анализ с использованием метода конечных элементов** (finite element analysis): Метод численного решения задач математической физики, используемый для проведения анализа влияния динамических и статических нагрузок в упруго-пластической области деформирования, посредством аппроксимирования конструкции дискретной моделью с заданными свойствами материала.

Примечание — Анализ может быть локальным или общим.

3.1.7 **анализ скорости роста усталостной трещины** (fatigue crack growth analysis): Анализ приращения длины усталостной трещины относительно принятого исходного размера дефекта с учетом числа циклов нагружения.

Примечание — Используют для определения требований к проведению неразрушающего контроля при изготовлении и для формирования программы диагностики в процессе эксплуатации.

3.1.8

барьер (barrier): Элемент, предназначенный для предотвращения утечки добываемых или закачиваемых флюидов из находящейся под давлением части системы в окружающую среду.

[*ГОСТ Р 59305—2021, пункт 3.1.1*]

3.1.9 **барьерный элемент** (barrier element): Устройство в составе барьера, которое в отдельности не препятствует движению потока между его сторонами.

3.1.10 **безопасное состояние** (secure status): Состояние, при котором обеспечено наличие не менее двух независимых барьеров между продуктивным пластом и окружающей средой.

3.1.11

бесшовная труба (seamless pipe): Трубное изделие из деформируемой стали, изготовленное без сварного шва.

[*ГОСТ 33006.2—2014, пункт 3.3*]

3.1.12 **буровой райзер** (drilling riser): Система, используемая на буровом судне или плавучей буровой установке для направления бурильной колонны и обеспечения циркуляции флюидов между оборудованием на буровом судне и подводным противовыбросовым оборудованием.

3.1.13

верификация (verification): Подтверждение, посредством представления объективных свидетельств, того, что установленные требования были выполнены.

Примечания

1 Объективное свидетельство, необходимое для верификации, может быть результатом контроля или других форм определения, таких как осуществление альтернативных расчетов или анализ документов.

2 Деятельность, выполняемая при верификации, иногда называется квалификационным процессом.

3 Термин «верифицирован» используют для обозначения соответствующего статуса.

[*ГОСТ Р ИСО 9000—2015, статья 3.8.12*]

3.1.14 **вертикальная качка** (heave): Возвратно-поступательное движение судна вдоль вертикальной оси.

3.1.15 **вес в погруженном состоянии** (submerged weight): Вес объекта, погруженного в воду, включая вес находящихся в нем технологических сред.

3.1.16 **вибрация, вызванная вихреобразованием** (vortex-induced vibration): Продольные и поперечные колебания райзера, обусловленные периодическими срывами вызванных течением вихрей воды.

3.1.17 **внешнее уплотнение** (environmental seal): Уплотнение рабочих поверхностей соединителя, находящееся под действием внутреннего и внешнего давления и препятствующее попаданию технологических флюидов во внешнюю среду.

Примечание — Такое уплотнение, как правило, отделяет среду под давлением от окружающей среды.

3.1.18 **временная область** (time domain): Промежуток времени, на протяжении которого выполняют пошаговое моделирование реакции райзера.

Примечание — Моделирование во временной области обеспечивает возможность гидродинамического и конструктивного моделирования с учетом нелинейности процессов.

3.1.19 **воздействия окружающей среды** (environmental loads): Нагрузки и воздействия, возникающие от действия и влияния факторов окружающей среды.

Пример — Нагрузки от действия волны, течения и ветра.

3.1.20 **вспомогательный роторный стол** (false rotary): Компонент, устанавливаемый на буровом роторном столе и предназначенный для установки клинового захвата для подвешивания одинарной, двойной или тройной колонны труб.

Примечание — Использование вспомогательного роторного стола позволяет подавать шлангокабель системы управления ремонтом скважины в буровой райзер без контакта с плашками клинового захвата.

3.1.21

вспомогательный трубопровод (auxiliary line): Наружный трубопровод (не включающий линию дросселирования и линию глушения), установленный параллельно главной колонне райзера, для прохода потока скважинной жидкости.

Пример — Линия жидкости системы контроля, линия управления плавучестью, линия подъема бурового раствора.

[*ГОСТ 33005—2014, статья 3.1.1*]

3.1.22 **герметичность** (leak-tight): Свойство компонента препятствовать утечке, превышающей допустимые значения.

3.1.23 **гибкая перемычка** (jumper): Короткий отрезок гибкой трубы с муфтовым соединением на каждом конце.

3.1.24 **гибкое соединение** (flex joint): Многослойный металло-эластомерный узел, имеющий центральный сквозной канал, диаметр которого равен или превышает отверстие сопрягаемой трубы, и устанавливаемый в секции райзера для снижения локальных изгибающих напряжений.

3.1.25 **гидравлический соединитель** (hydraulic connector): Механический соединитель, для активации которого необходимо обеспечить воздействие гидравлической энергии.

3.1.26 **гидродинамические нагрузки** (hydrodynamic loads): Нагрузки, обусловленные внешним воздействием на райзер при движении морской воды.

3.1.27 **гладкое (износостойкое) соединение** (slick joint): Специальная секция райзера, предназначенная для защиты от повреждения райзера и шлангокабеля управления при прохождении через роторный стол.

Примечание — Как правило, входит в состав райзера для заканчивания и ремонта скважин и иногда носит название «противоизносная секция с внешним кожухом».

3.1.28 **давление при заводских приемочных/приемо-сдаточных испытаниях** (mill/factory acceptance test pressure): Давление при гидростатических испытаниях компонентов райзера, проводимых после завершения процессов изготовления и сборки с целью испытания райзера на прочность и/или герметичность.

3.1.29 **давление при пробковом режиме потока** (surge pressure): Давление, возникающее вследствие случайных изменений скорости потока флюидов внутри райзера.

3.1.30 **диаграмма повторяемости волн** (wave scatter diagram): Представленные в табличной форме данные, описывающие состояние моря в значениях характерной высоты волны и периода пика спектра волны или среднего периода волны.

3.1.31 **дополнительное напряжение** (secondary stress): Напряжение, возникающее в результате геометрической неоднородности детали, применения материалов с различными значениями модуля упругости при действии внешних нагрузок, из-за ограничений, обусловленных различными уровнями теплового расширения, или из-за нагрузок при сборке (предварительный натяг), и не влияющее на герметичность соединителя.

Примечания

1 В качестве дополнительных рассматривают линейно распределенные по толщине напряжения. Для нелинейно распределенных напряжений в качестве дополнительных рассматривают напряжения, эквивалентные напряжениям с линейным распределением.

2 Основной характеристикой дополнительных напряжений применительно к механическому поведению конструкции является то, что они приводят к возникновению пластической деформации при компенсации различных локальных деформаций в случае превышения предела текучести. Характеристикой дополнительного напряжения является то, что локальная деформация приводит к ограничению напряжения.

3 Дополнительные напряжения могут быть мембранными или изгибающими.

4 Изгибающие напряжения, возникающие в результате значительной конструктивной неоднородности и действующие поперек сечения стенки трубы, классифицируют как дополнительные напряжения.

3.1.32

заводские приемо-сдаточные испытания (factory acceptance test): Контрольные испытания продукции при приемочном контроле.

[*ГОСТ 16504—81, статья 47*]

3.1.33 **заданное минимальное значение предела текучести** (specified minimum yield strength): Минимальное значение предела текучести при комнатной температуре, установленное в технических условиях или стандарте, в соответствии с которыми осуществляется поставка материала.

3.1.34

задир (galling): Повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

[*ГОСТ 27674—88, статья 44*]

3.1.35 **заказчик** (purchaser): Организация, которая приобретает райзерную систему для заканчивания и ремонта скважин от имени и по поручению оператора или для собственных целей.

3.1.36 **заканчивание скважины** (well completion): Совокупность операций в процессе строительства скважины с применением райзерной системы для заканчивания скважины, включающая спуск насосно-компрессорной колонны, перфорацию и вызов притока пластового флюида.

Примечание — Определение охватывает только работы в процессе строительства скважины, попадающие под область действия настоящего стандарта.

3.1.37 **защитная втулка** (wear bushing): Втулка, устанавливаемая в роторном столе, с целью создания на уровне пола буровой установки гладкой боковой опоры для райзера для ремонтных работ.

3.1.38 **зона периодического смачивания** (splash zone): Часть райзера, периодически подверженная воздействию морской воды и воздуха.

3.1.39 **изготовитель** (fabricator): Организация или объединение организаций, которая несет ответственность за изготовление элементов и систем райзера в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

3.1.40 **инструмент для свинчивания** (make-up tool): Специальный инструмент, предназначенный для свинчивания соединителей секций райзера.

3.1.41 **инструмент для спуска** (running tool): Специальный инструмент, используемый для спуска оборудования в скважину.

Пример — Спускаемый на кабеле инструмент или различные виды инструментов для спуска на насосно-компрессорных трубах.

3.1.42 **инструмент для спуска трубной головки** (tubing hanger running tool): Оборудование, используемое для спуска, посадки и крепления трубной головки внутри устьевой обвязки, трубной катушки или подводной фонтанной арматуры.

3.1.43 **инструмент для спуска фонтанной арматуры** (tree running tool): Оборудование, используемое для спуска и установки подводной фонтанной арматуры на подводное устье скважины.

3.1.44 **испытание на ударную вязкость по Шарпи образцов с V-образным надрезом** (Charpy V-notch test): Испытание для определения вязкости разрушения в показателях поглощенной энергии до разрушения и изменения геометрических параметров надреза.

3.1.45 **испытание системы давлением** (system pressure test): Гидростатическое испытание системы райзера на герметичность, выполняемое после завершения установки и перед началом эксплуатации райзера.

3.1.46 **испытательная секция в составе колонны для спуска** (subsea test tree): Элемент оборудования с запорной арматурой, устанавливаемый над инструментом для спуска трубной головки внутри подводного противовыбросового превентора и эквивалентный нижнему узлу превентора райзера для ремонта скважины.

Примечание — Данная арматура, используемая для обеспечения безопасности скважины, является точкой отсоединения райзера заканчивания и ремонта скважин. Испытательная секция может быть сконфигурирована для работы с фонтанной арматурой горизонтального и вертикального типа.

3.1.47 **исходные данные для проектирования** (design basis): Совокупность используемых в процессе выполнения проектных работ данных и требований, которые не установлены в применяемых нормативных документах.

3.1.48 **карданный подвес** (gimbal): Устройство, устанавливаемое между спайдером и верхней секцией райзера, с целью обеспечения возможности поворота райзера относительно горизонтальной оси для уменьшения значений изгибающих моментов, возникающих в результате бортовой и килевой качки судна.

3.1.49 **катушка повторного ввода** (re-entry spool): Конструктивный элемент в верхней части подводной фонтанной арматуры, к которому выполняется подсоединение райзера для обеспечения вертикального доступа в скважину, или верхняя часть нижнего узла превентора райзера, к которой крепится модуль экстренного отсоединения, для формирования точки расстыковки.

3.1.50 **квалифицированный персонал** (qualified personnel): Работники, обладающие знаниями и навыками, приобретенными в ходе теоретической подготовки и практического обучения, и/или обладающие практическим опытом, достаточным для соответствия требованиям, установленным изготовителем.

3.1.51 **квантиль** (fractile): *p*-Квантиль (или процентиль), значение случайной величины x_p, при котором $F(x_p) = p$, где p — заданная вероятность, а $F(x_p)$ — функция распределения случайной величины x_p.

3.1.52 **компонент** (component): Деталь оборудования под давлением, которую при проведении расчетов можно рассматривать как отдельный элемент.

Примечание — Включает такие конструктивные компоненты, как трубы, соединители, усиленные соединения, натяжные соединения, гладкие соединения, соединения для ориентации трубной головки, переходники и т. п.

3.1.53 **клапан лубрикатор** (lubricator valve): Блок трубопроводной арматуры, как правило, расположенный ниже палубной испытательной фонтанной арматуры и используемый для изоляции скважинной среды от внешней среды в процессе загрузки инструмента для выполнения работ на кабеле или гибких трубах.

3.1.54 **колебания с частотой волны** (wave frequency motion): Колебания судна с частотой следования волн.

3.1.55 **короткий патрубок** (pup joint): Секция бурильной или насосно-компрессорной трубы, имеющая длину меньше стандартной.

3.1.56 **коэффициент использования** (design factor): Коэффициент запаса прочности, применяемый в процессе расчета по допускаемым напряжениям.

3.1.57 **коэффициент концентрации напряжений** (stress concentration factor): Значение, равное отношению величины локального пикового циклического напряжения в компоненте (включая сварные швы) к величине номинального циклического напряжения в стенке трубы в месте размещения компонента.

Примечание — Коэффициент используют для расчета увеличения напряжений вследствие наличия геометрических концентраторов напряжений в компонентах райзера.

3.1.58 **коэффициент интенсивности напряжений** (stress intensity factor): Коэффициент, используемый в линейной механике разрушения для описания полей напряжений у вершины трещины с позиции общих параметров, таких как величина нагрузки, геометрические параметры и размер трещины.

3.1.59

кривая усталости (S—N curve): График, характеризующий зависимость между максимальными напряжениями (деформациями) или амплитудами цикла и циклической долговечностью одинаковых образцов, построенный по параметру среднего напряжения или деформации цикла или по параметру коэффициента асимметрии цикла.

[*ГОСТ 23207—78, статья 44*]

3.1.60 **критерии проектирования** (design criteria): Количественные характеристики, описывающие каждый тип отказа при потенциально возможных условиях.

3.1.61

линия глушения, штуцерная линия (choke and kill lines): Наружный трубопровод, расположенный с фронтальной части трубы водоотделяющей колонны и используемый для циркуляции жидкости внутри и снаружи ствола скважины с целью управления давлением.

Примечание — Линия глушения и штуцерная линия являются основными элементами под давлением.

[*ГОСТ 33005—2014, пункт 3.1.6*]

3.1.62 **локальное смятие** (local buckling): Локальная потеря устойчивости трубы райзера, вызывающая деформации поперечного сечения.

Примечание — Локальное смятие может происходить в результате избыточного внешнего давления (окружная потеря устойчивости) или действия момента (образование складок), или их комбинации.

3.1.63 **минимальная проектная температура металла** (minimum design metal temperature): Наиболее низкое значение температуры металла в процессе эксплуатации, как правило, принимаемое как наиболее низкая температура флюида в райзере в рабочих условиях.

3.1.64 **модель райзера** (riser model): Модель конструкции райзера, основанная на приведенных в технической документации данных, характеризующих конкретный райзер, и используемая при проведении общего анализа райзерной системы.

3.1.65 **модуль плавучести** (buoyancy module): Конструкция из материала с низкой плотностью, как правило, вспененных полимеров, закрепляемая на наружной поверхности секций райзера для снижения веса райзера в погруженном состоянии.

3.1.66 **модуль экстренного отсоединения** (emergency disconnect package): Подводный блок, как правило, являющийся частью нижнего соединительного узла райзера, который обеспечивает точку разъединения между райзером и подводным оборудованием.

Примечание — Данное оборудование используют при необходимости оперативного отсоединения райзера от скважины, например в случае сноса судна или другой аварийной ситуации, при которой возможен уход судна от места расположения скважины.

3.1.67 **нагрузка** (load): Воздействие, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния элементов системы райзера.

3.1.68 **напряжение смятия** (bearing stress): Усилие в точке механического контакта соприкасающихся поверхностей, отнесенное к эффективной площади контакта.

3.1.69

насосно-компрессорная труба (tubing): Труба, размещаемая в скважине и служащая для подъема продукции скважины или нагнетания рабочей среды.

[*ГОСТ 31446—2017, пункт 3.25*]

3.1.70 **натяжное кольцо** (tension ring): Место крепления на натяжной секции натяжных тросов системы натяжения судна.

3.1.71 **натяжное соединение** (tension joint): Специальная секция райзера, предназначенная для натяжения райзера заканчивания и ремонта скважин с помощью системы натяжения судна при проведении ремонтных работ в скважине без применения водоотделяющей колонны.

Примечание — Натяжное соединение располагают под гладким соединением, которое обеспечивает возможность крепления системы натяжения к райзеру.

3.1.72 **неоднородность макроструктуры** (gross structural discontinuity): Неоднородность свойств конструкции или материала, которая оказывает влияние на распределение напряжений или деформаций по всей толщине стенки в месте влияния контакта.

Пример — Соединение концов труб, сочленение трубы и соединителя, соединение двух труб разных диаметров, с разными толщинами стенки или изготовленных из разных материалов, или соединение трубы с элементом жесткости.

3.1.73 **низкочастотные перемещения судна** (low-frequency vessel motion): Перемещения судна с частотой меньше, чем частота волн, как правило, с периодом от 30 до 300 с.

3.1.74 **нижний блок морского райзера** (lower marine riser package): Верхняя часть двухсекционного подводного блока превенторов, состоящая из гидравлического соединителя, кольцевого противовыбросового превентора, шарового/гибкого соединения, переходника райзера, перемычки дроссельной линии, линии глушения скважины, вспомогательных линий и подводных управляющих модулей.

Примечание — Нижний блок райзера имеет интерфейс с противовыбросовым превентором.

3.1.75 **нижний узел райзера** (lower riser package): Подводный блок оборудования, который образует часть нижнего соединительного узла райзера для ремонта скважин и включает подводное противовыбросовое оборудование для кабеля и гибких труб и инструмент для спуска фонтанной арматуры.

3.1.76 **нижний узел райзера для ремонта скважин** (lower workover riser package): Самый нижний блок оборудования в колонне райзера, предназначенного для монтажа фонтанной арматуры и ремонта скважин, включающий оборудование, расположенное между усиленным соединением райзера и фонтанной арматурой и, как правило, состоящий из нижнего узла райзера и модуля экстренного отсоединения.

Примечание — Нижний соединительный узел райзера для ремонта скважин позволяет контролировать скважину и обеспечивает безопасность во время операций с инструментами на гибких трубах или кабеле и при проведении внутрискважинных работ.

3.1.77

номинальное значение: Значение, при котором обеспечиваются проектные оптимальные условия работы системы.

[*ГОСТ 30721—2020, статья 1.01.58*]

3.1.78 **общий анализ** (global analysis): Комплексный анализ прочностных свойств райзерной системы от морского дна (устья скважины) до верхнего привода, включая систему натяжения райзера и балки крепления.

Примечание — В результате общего анализа определяют изгибающие моменты и распределение фактического натяжения в колонне райзера при воздействии функциональных нагрузок, нагрузок от смещений судна и действия факторов окружающей среды.

3.1.79 **общая потеря устойчивости** (global buckling): Потеря устойчивости в области упругой деформации в соответствии с формулой Эйлера.

3.1.80

овальность, мм (ovality): Разность между максимальным и минимальным наружными диаметрами, измеренными в одном и том же поперечном сечении трубы или трубного конца фитинга.

[*ГОСТ Р 58121.1—2018, статья 3.1.7*]

Примечание — Отклонение от круглости может быть выражено в виде овальности, т. е. принятия поперечным сечением формы эллипса, либо местной деформации, т. е. сплющивания.

3.1.81 **оператор амплитудной характеристики** (response amplitude operator): Передаточная функция, отражающая связь между амплитудой и фазой волны и амплитудой и фазой вызванного этой волной перемещения судна.

3.1.82 **основная нагрузка** (primary load): Нагрузка, которая не зависит от деформации конструкции райзера и вызывает внутренние силы реакции, соответствующие состоянию механического равновесия.

Примечание — Внутренняя сила реакции действует при наличии нагрузки и не снижается в случае возникновения пластической деформации.

Примеры — Внутреннее давление, наружное гидростатическое давление, собственный вес, плавучесть райзера.

3.1.83 **основное механическое напряжение** (primary stress): Механическое напряжение, вызванное действием основных нагрузок от давления, внешних сил и моментов.

Примечания

1 В отношении поведения конструкции основной характеристикой напряжения такого типа является то, что в случае существенного увеличения внешней нагрузки значительно увеличиваются деформации в конструкции до достижения состояния полной пластичности в сечении.

2 Основные напряжения подразделяют на мембранные напряжения и изгибающие напряжения с учетом их распределения в поперечном сечении, определяющем поведение элемента под нагрузкой. Основное мембранное напряжение определяют как среднее значение соответствующих распределенных напряжений в сечении, определяющее поведение элемента под нагрузкой. Основное изгибающее напряжение определяют как основное напряжение, линейно распределенное вдоль рассматриваемого сечения с величиной, пропорциональной расстоянию от нейтральной оси.

3 В отношении распределения мембранного напряжения вдоль стенки трубы делают различие между общим и локальным основным мембранным напряжением. Мембранные напряжения, возникающие в результате значительной конструктивной неоднородности (например, встроенных элементов), рассматривают как локальные.

3.1.84 **особые нагрузки** (accidental load): Нагрузки и воздействия, создающие аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями.

Примеры — Непреднамеренное изменение позиционирования судна, блокировка компенсатора вертикальных перемещений и т. п.

3.1.85

отказ (failure): Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Примечания

1 Отказ может быть полным или частичным.

2 Полный отказ характеризуется переходом объекта в неработоспособное состояние.

3 Частичный отказ характеризуется переходом объекта в частично неработоспособное состояние.

[*ГОСТ Р 27.102—2021, статья 36*]

Пример — Повреждение конструкции (чрезмерная пластическая деформация, потеря устойчивости, разрушение, образование утечки).

3.1.86

отказобезопасное устройство (fail-safe device): Устройство, которое при потере регулирующей среды автоматически переключается в безопасное состояние.

[*ГОСТ ISO 10417—2014, пункт 3.13*]

3.1.87 **отсоединение райзера** (riser disconnect): Операция, при которой выполняют открытие соединительного механизма райзера.

Пример — Отстыковка модуля экстренного отсоединения от нижнего узла превентора райзера и/или отсоединение райзера от испытательнойя секции в составе колонны для спуска.

3.1.88 **оценка механики разрушения** (fracture mechanics assessment): Анализ критических размеров дефектов при расчетных нагрузках с целью определения живучести детали при циклических нагружениях, т. е. определения момента образования трещин, приводящих к возникновению утечки или разрушению детали.

3.1.89 **палубная испытательная фонтанная арматура** (surface tree): Устройство, обеспечивающее регулирование потока из эксплуатационной колонны и/или затрубного пространства в процессе

установки трубной головки, монтажа подводной фонтанной арматуры и проведения ремонтных работ в скважине.

Примечание — Палубная испытательная фонтанная арматура может обеспечивать удержание веса райзерной системы заканчивания и ремонта скважин.

3.1.90 **переводник противовыбросового превентора** (blow-out preventer adapter joint, blow-out preventer spanner joint): Специальное соединение в конструкции райзера, применяемое для установки и извлечения трубной головки, когда райзер для заканчивания и ремонта размещается внутри бурового райзера и подводного противовыбросового превентора.

3.1.91 **переходник палубной испытательной фонтанной арматуры** (surface tree adapter joint): Устройство, обеспечивающее механический переход от стандартного соединителя секции райзера к соединителю, расположенному в нижней части палубной испытательной фонтанной арматуры.

Примечание — Конфигурация проходного канала в переходнике соответствует конфигурации канала в стандартном соединителе секций райзера. Как правило, этот переходник устанавливают на палубной испытательной арматуре до ее монтажа.

3.1.92 **период повторяемости** (return period): Средний промежуток времени между наступлением рассматриваемого события.

Примечание — Противоположностью периоду повторяемости является статистическая вероятность наступления события.

3.1.93 **пиковое механическое напряжение** (peak stress): Составная часть напряжения, учитываемая наряду со значениями основных и дополнительных напряжений при расчете общего напряжения.

Примечание — Пиковые напряжения не приводят к значительным деформациям и в комбинации с основными и дополнительными напряжениями учитываются при определении условий усталостного и хрупкого разрушения.

3.1.94 **подъемное устройство** (lifting device): Инструмент, предназначенный для грузоподъемных работ.

3.1.95 **поперечная качка** (sway): Колебания (переменное периодическое движение) судна вдоль поперечной оси.

3.1.96 **поставщик** (manufacturer): Организация или объединение организаций, которые берут на себя ответственность за изготовление райзерной системы в целом в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Примечание — Поставщик под свою ответственность может привлекать одного или нескольких субподрядчиков для выполнения вышеуказанных работ.

3.1.97

превентор (blow-out preventer): Устьевое оборудование, обеспечивающее перекрытие контактным управляемым уплотнителем стволового прохода.

Примечание — В стволовом проходе могут находиться неподвижные или движущиеся колонны труб или тросы.

[*ГОСТ 28996—91, статья 13*]

3.1.98

превенторный блок (blow-out preventer stack): Часть противовыбросового оборудования, включающая превенторы и соединяющие их детали, устанавливаемые на устье.

[*ГОСТ 28996—91, статья 12*]

Примечание — Иногда в состав превенторного блока включают нижний блок основания райзера.

3.1.99 **применение в средах, содержащих сероводород** (sour service): Условия эксплуатации при содержании сероводорода, превышающем минимальное значение, установленное в *ГОСТ Р 53679* для проектного значения давления.

3.1.100

припуск на коррозию (corrosion allowance): Дополнительная толщина стенки, добавляемая при проектировании для компенсации какого-либо уменьшения толщины стенки за счет коррозии (внутренней/наружной) в ходе эксплуатации.

[*ГОСТ Р 54382—2011, статья 3.18*]

3.1.101 **пробное давление** (system test pressure): Внутреннее давление в райзере, подаваемое в процессе испытания райзерной системы давлением после завершения установки и перед началом эксплуатации.

3.1.102 **продольная качка** (surge): Колебания (переменное периодическое движение) судна вдоль продольной оси.

3.1.103 **подводный превенторный блок** (blow-out preventer stack): Устанавливаемый на устье подводной скважины комплекс противовыбросового оборудования, включающий противовыбросовый превентор, катушки, запорную арматуру, гидравлические соединители и муфты.

Примечание — Часто в понятие подводного превенторного блока включают нижний блок райзера.

3.1.104 **продолжительность эксплуатации** (service life): Период времени, в течение которого оборудование выполняло заданные функции в установленных проектных условиях, т. е. время нахождения в работе, за исключением периодов хранения.

Примечание — Продолжительность эксплуатации составляет, как правило, небольшую часть проектного срока службы.

3.1.105 **проектировщик** (designer): Организация или объединение организаций, которая несет ответственность за проектирование райзерных систем в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

3.1.106 **проектная нагрузка** (design load): Возможные сочетания нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании.

3.1.107 **проектный срок эксплуатации** (design life): Период времени, в течение которого райзер может быть использован по назначению при условии проведения планового технического обслуживания, но без необходимости выполнении значительного (планово-восстановительного) ремонта или замены его элементов, включая периоды хранения и эксплуатации.

Примечание — Проектный срок эксплуатации включает весь период после изготовления райзера до начала вывода из эксплуатации райзерной системы или ее части.

3.1.108 **прокладка** (gasket): Изделие из деформируемого материала (нескольких материалов), предназначенное для обеспечения герметичности соединения поверхностей.

3.1.109 **превентор для каната и гибких труб** (wireline/coiled tubing blowout preventor): Подводное противовыбросовое оборудование, устанавливаемое на подводную фонтанную арматуру, для проведения внутрискважинных работ с использованием канатной техники или гибких труб.

Примечание — Закрытие плашек превентора обеспечивает срезание каната или гибких труб и герметизацию ствола скважины.

3.1.110 **прочность** (strength): Механическая характеристика материала, позволяющая сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих под воздействием внешних сил, как правило, выражаемая в единицах измерения механических напряжений.

3.1.111 ***рабочее давление*** *(working pressure): Наибольшее избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации системы райзера.*

3.1.112 **рабочий диапазон** (operating envelope): Ограниченный диапазон значений параметров, при соблюдении которых обеспечивается безопасное выполнение работ и соблюдение требований к техническому состоянию оборудования.

3.1.113 **рабочий режим** (operating mode): Совокупность параметров, определяемая назначением и областью применения оборудования или системы райзера.

Примечание — К рабочим режимам относят: процесс установки компонентов райзера, спуск/подъем, посадка/соединение, натяжение для проверки фиксации, испытание системы под давлением, эксплуатация, надводное закрытие, подводное закрытие, отсоединение, вывешивание, натяжение для извлечения трубной головки,

режим при отказе системы динамического позиционирования, системы натяжения, якорной системы или якорных оттяжек.

3.1.114

размах напряжения (stress range): Алгебраическая разность максимального и минимального напряжений цикла.

[*ГОСТ 23207—78, статья 30*]

3.1.115 **райзер в подвешенном положении** (hang-off): Райзер, у которого нижняя часть отсоединена от оборудования на морском дне.

Примечание — Как правило, отличают райзер в подвешенном положении и райзер в отсоединенном состоянии. Отсоединенное состояние — это состояние непосредственно после отсоединения райзера. Подвешенное положение, как правило, относится к райзеру, подвешенному на роторном столе.

3.1.116 **райзер для заканчивания скважины** (completion riser): Специальный вид райзера, используемый на этапе заканчивания скважины, конструкция которого обеспечивает прохождение райзера через противовыбросовое оборудование и буровой райзер.

Примечание — Операции заканчивания скважины выполняются через буровой райзер. Райзер для заканчивания скважины также можно использовать для выполнения внутрискважинных работ без использования бурового райзера.

3.1.117

райзер для заканчивания/ремонта скважины (completion/workover riser): Удлинитель эксплуатационного и/или кольцевого канала (каналов) скважины с подводным расположением устья до надводного судна.

[*ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016, статья 3.1.10*]

3.1.118 **райзер для ремонта скважин** (workover riser): Райзер, подключаемый к верхнему соединению подводной фонтанной арматуры, формирующий герметичный канал от фонтанной арматуры до поверхности моря, предназначенный для спуска инструментов при выполнении в скважине непродолжительных ремонтных работ, обеспечивающий возможность извлечения при ухудшении погодных условий.

Примечание — Исторически ремонтные работы выполнялись без водоотделяющей колонны (при использовании подводной фонтанной арматуры вертикального типа), но могут быть выполнены при размещении райзера для ремонта в буровом райзере, обеспечивающем требуемые барьерные элементы.

3.1.119 **райзер из бурильных труб** (drill pipe riser): Колонна бурильных труб с закрепленными на ней шлангокабелями гидравлической системы управления и шлангокабелями затрубного пространства.

3.1.120 **райзер из насосно-компрессорных труб** (tubing riser): Райзер, состоящий из одной или нескольких независимых колонн насосно-компрессорных труб и шлангокабеля гидравлической системы управления.

Примечание — При использовании двух и более колонн насосно-компрессорных труб они могут быть расположеты независимо, либо могут быть скреплены вместе посредством каких-либо зажимных устройств. Шлангокабель гидравлической системы управления, как правило, пристегивается или привязывается к одной из колонн в процессе спуска райзера.

3.1.121 **райзер с вертикальным натяжением** (top tensioned riser): Райзер, находящийся в вертикальном положении, удерживаемый за счет верхнего натяжения и других систем, которые позволяют райзеру осуществлять перемещения относительно судна в вертикальном направлении и ограничивают возможность его горизонтального смещения при смещениях судна.

3.1.122 **райзерная система** (riser system): Система, в состав которой входит райзер и встроенные в него компоненты, включая подводное и надводное оборудование.

Пример — При работе с трубной головкой в состав системы райзера входят все элементы между трубной головкой и верхним приводом, при работе с подводной фонтанной арматурой в состав системы входят все элементы от устья скважины до верхнего привода.

3.1.123 **раздельный райзер** (non-integral riser): Райзер, состоящий из отдельных независимых колонн или каналов, обеспечивающих доступ в эксплуатационное и затрубное пространство.

Примечание — Райзер такого типа, как правило, устанавливается с соединениями, расположенными в шахматном порядке, чтобы обеспечить использование типовых инструментов для насосно-компрессорных или бурильных труб для свинчивания соединений. Механическая фиксация трубных секций в собранном виде упрощает выполнение спускоподъемных операций и обеспечивает конструктивную жесткость. Раздельный райзер может относиться к одному из двух типов: райзер из бурильных труб или райзер из насосно-компрессорных труб.

3.1.124 **размах напряжений в концентраторе** (notch stress range): Сумма размаха основных, дополнительных и пиковых напряжений, формирующая общий размах напряжений (см. приложение С) и используемая для оценки сопротивления усталости несварных деталей.

3.1.125 **раскрытие в вершине трещины** (crack tip opening displacement): Параметр трещиностойкости, определяемый на основе сравнения значения угла раскрытия трещины при проведении испытания с критическим значением.

3.1.126 **расчет** (calculation): Использование аналитических формул или методов численного моделирования, например метода конечных элементов или метода граничных элементов, для оценки конструктивной надежности компонента/системы.

3.1.127 **расчетное давление** (design pressure): Максимальная разница между значениями внутреннего и внешнего давления в процессе эксплуатации райзера, отнесенная к указанной базовой высоте.

Примечание — Расчетное давление часто называют максимально допустимым давлением, или номинальным рабочим давлением, или максимально допустимым давлением.

Пример — В качестве расчетного давления может выступать максимальное давление, рассматриваемое как статическое давление при закрытом устье скважины (у поверхности дна) или в верхней части райзера при открытой подводной арматуре, максимальное давление гидроразрыва, максимальное давление нагнетаемого в скважину флюида, максимальное давление газонефтепроявлений или максимальное давление глушения скважины.

3.1.128 **результат воздействия** (load effect): Результат действия отдельной нагрузки или сочетания нагрузок на конструкцию, включая напряжение, растяжение, деформацию, смещение, сдвиг и т. д.

3.1.129 **ретчетинг** (ratcheting): Накопленная неупругая деформация, возникающая в компоненте в результате наличия меняющихся механических напряжений, термических напряжений или их сочетания (накопленная деформация, частично или полностью вызванная действием термических напряжений, называется термическим ретчетингом).

Примечание — Ретчетинг приводит к пластической деформации, которая увеличивается за каждый цикл на примерно одинаковую величину и быстро достигает критического значения.

3.1.130 **роторный стол** (rotary table): Устройство, используемое для передачи крутящего момента бурильной колонне в процессе бурения скважины и, как правило, расположенное в центральной части пола буровой установки.

Примечание — Может вращаться и удерживать защитную втулку или спайдер.

3.1.131 **секция райзера** (riser joint): Секция, состоящая из трубной части (трубных частей) и концевых соединительных механизмов с каждой стороны.

Примечание — Длина секции райзера, как правило, составляет от 9,14 до 15,24 м. Также можно использовать укороченные секции и патрубки для обеспечения необходимого пространства во время спуска подводной фонтанной арматуры, трубной головки или при проведении операций по ремонту скважины.

3.1.132

система динамического позиционирования (dynamic positioning system): Система позиционирования, в которой непрерывное удержание плавучего сооружения над заданной точкой обеспечивается работой движителей и средств активного управления.

[*ГОСТ Р 58773—2019, статья 3.27*]

3.1.133 **система натяжения** (tensioner system): Устройство, обеспечивающее равномерное натяжение райзерной колонны за счет компенсации относительных вертикальных перемещений судна и верхней части спущенной колонны райзера.

3.1.134 **смещение судна** (vessel offset): Общее смещение судна, обусловленное средним смещением судна, колебанием судна с частотой волн и низкочастотными перемещениями от действия ветра и волн.

3.1.135 **снос** (drift-off): Непреднамеренное боковое смещение судна с динамическим позиционированием от требуемого положения относительно устья скважины, как правило, вызываемое нарушением в работе системы позиционирования или движителя.

3.1.136 **согласование** (agreement): Если не указано иное, выражение «по согласованию» означает «по согласованию между изготовителем и заказчиком в момент запроса и заказа».

3.1.137 **соединитель** (connector): Конструктивный элемент райзера, обеспечивающий герметичное механическое соединение смежных секций райзерной системы и способный выдерживать прилагаемые нагрузки.

Примеры — Резьбовые соединения, включая один фитинг с наружной резьбой (ниппель), один фитинг с внутренней резьбой (муфта) и уплотнительным кольцом, или два ниппеля, муфту и уплотнительное кольцо (кольца); фланцевое соединение, включая два фланца, болты и уплотнительное кольцо (кольца); бугельные соединения с хомутами, включая бугели, хомуты, болты и уплотнительное кольцо (уплотнительные кольца); соединители с зажимами.

3.1.138 **сопротивление** (resistance): Механическая характеристика прочности компонента или элемента конструкции.

Примеры — Сопротивление изгибу, сопротивление локальной потере устойчивости.

3.1.139 **составной райзер** (integral riser): Райзер для заканчивания и капитального ремонта скважин составного типа, в котором находящиеся под давлением трубопроводы встроены в общий узел или секцию.

Примечания

1 Составные райзеры, как правило, разделяются по признаку наличия внешнего кожуха. Секция составного райзера включает линию для эксплуатационного трубопровода и линию межтрубного пространства.

2 Внутри кожуха райзера для заканчивания/ремонта скважины могут быть расположены гидравлические линии системы управления. Такой тип райзера, как правило, используется в системах с высокими проектными растягивающими и изгибающими нагрузками.

3.1.140 **сочетание нагрузок** (load case): Комбинация одновременно действующих нагрузок и воздействий.

3.1.141 **спайдер** (spider): Устройство с выдвижными захватами или зажимами, используемое для удерживания райзера за упор верхнего соединителя в процессе спуска.

Примечание — Спайдер устанавливается на вкладыше ротора или в роторном столе. Он обеспечивает подвес составного райзера для заканчивания/капитального ремонта. Некоторые виды спайдеров закрепляются через соединительные отверстия вкладыша ведущей трубы в главном вкладыше ротора. При установленных штифтах спайдер может воспринимать крутящий момент. Для раздельных райзеров вместо спайдеров используются клинья для насосно-компрессорных труб и вспомогательный ротор.

3.1.142 **среднее смещение судна** (vessel mean offset): Смещение судна, вызываемое постоянным воздействием течения, ветра и волн.

3.1.143 **среднее установившееся смещение судна** (mean static offset): Среднее установившееся значение перемещений судна на точке работ, обусловленных действием течения, ветра и волн, низкочастотных перемещений и перемещений, вызванных работой системы динамического позиционирования.

3.1.144 **срезающий клапан** (shearing valve): Задвижка или шаровой кран, обеспечивающие срезание кабеля или гибкой трубы в процессе закрытия для герметизации стволового прохода.

3.1.145 **стопорный клапан** (retainer valve): Элемент оборудования с трубопроводной арматурой в составе райзера, используемый для предотвращения истечения флюидов из райзера и их попадания в окружающую среду в процессе отсоединения райзера.

Примечание — Как правило, стопорный клапан располагается непосредственно над местом расстыковки.

3.1.146 **стыковочный переводник** (stab sub): Ниппельный элемент узла, обеспечивающего уплотнение между сопряжениями компонента.

Примечание — В составе стыковочного переводника могут использовать эластомерные и/или металлические уплотнения.

3.1.147 **стыковочный узел** (stab): Муфтово-ниппельный узел, который обеспечивает герметичность в соединении двух труб.

Примечание — Для удержания муфты и ниппеля в соединенном положении, как правило, используется внешний механизм. Например, стыковочные узлы секции межтрубного пространства райзера могут удерживаться в состыкованном положении за счет свинчивания муфты райзера.

3.1.148 **температура внутри помещения** (room temperature): Значение температуры в диапазоне от 4 °С до 40 °С, т. е. температура, соответствующая условиям испытания материала.

3.1.149 **технологический останов** (process shutdown): Управляемая последовательность действий, обеспечивающая перевод скважины в безопасное состояние, исключающее попадание углеводородов в окружающую среду.

3.1.150 **техническое обслуживание райзера** (maintenance): Совокупность мероприятий, выполняемых в период эксплуатации райзера для поддержания его работоспособности.

3.1.151 **технические условия на изготовление** (manufacturing procedure specification): Подготовленный поставщиком документ, определяющий порядок достижения и контроля заданных характеристик оборудования в процессе его изготовления.

3.1.152 **труба райзера** (riser pipe): Бесшовная труба, формирующая основной канал секции райзера.

Пример — Труба райзера формирует канал для движения потока добываемого флюида от скважины к палубной арматуре.

3.153

трубная головка (tubing hanger): Часть трубной обвязки без запорных устройств на боковых отводах корпуса, включающая трубодержатель и уплотнитель для одного или нескольких параллельных скважинных трубопроводов.

[*ГОСТ 28996—91, статья 42*]

Примечание — Также, как правило, используется для герметизации и изоляции затрубного пространства.

3.1.154 **увод** (drive-off): Непреднамеренное смещение судна с динамическим позиционированием от требуемого положения за счет действия главного двигателя или подруливающих устройств системы динамического позиционирования.

3.1.155 **уплотнение** (seal): Барьер, препятствующий истечению флюидов.

3.1.156 **упор** (support shoulder): Выступ или уступ на внешней поверхности соединителя райзера или компонента райзера, предназначенный для удерживания райзерной системы или оборудования контроля скважины во время спуска райзера.

3.1.157 **усиленное соединение** (stress joint): Специальная секция райзера, имеющая постепенно сужающееся сечение, предназначенная для контроля изгиба райзера и снижения значения локальных изгибающих напряжений.

Примечание — Усиленное соединение является самой нижней секцией в райзерной колонне для ремонта скважины.

3.1.158 **флюид** (fluid): Газы, жидкости в чистом виде, а также их смесь.

3.1.159 **функциональная нагрузка** (functional load): Нагрузки, обусловленные конструктивными параметрами самой райзерной системы, ее эксплуатацией и обслуживанием, за исключением нагрузки от давления.

3.1.160 **ход** (stroke): Общие вертикальные перемещения райзера относительно судна, т. е. перемещения, обусловленные работой системы натяжения райзера, буровой лебедки и гладкого соединения.

Примечание — Ход зависит от воздействий окружающей среды, функциональных нагрузок (т. е. верхнего натяжения, температуры и установившегося смещения судна) и давления.

3.1.161 **хомут шлангокабеля** (umbilical clamp): Механическое устройство, используемое для крепления шлангокабеля (шлангокабелей) к секции райзера.

3.1.162

шаблон (drift): Цилиндрический измерительный прибор, используемый для определения минимального внутреннего диаметра.

[*ГОСТ 33006.2—2014, статья 3.66*]

3.1.163

шаг резьбы (pitch): Расстояние по линии, параллельной оси резьбы между средними точками ближайших одноименных боковых сторон профиля резьбы, лежащими в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы.

[*ГОСТ 11708—82, статья 33*]

3.1.164 **шаровое соединение** (ball joint): Трубный поворотный шарнир, включающий шаровый элемент с центральным проходным отверстием, равным внутреннему диаметру райзера или превышающим его.

Примечание — Может быть применено в конструкции райзера для снижения локальных изгибающих напряжений.

3.1.165 **эксплуатант и/или оператор** (user and/or operator): Организация, которая осуществляет эксплуатацию райзерной системы для заканчивания и ремонта скважин или выступает в качестве оператора райзерной системы.

3.1.166 **эффективное натяжение** (effective tension): Натяжение вдоль оси райзера, рассчитанное в любой точке по его длине, исходя из значения натяжения в верхней точке и веса райзера в погруженном состоянии с учетом веса его содержимого (положительное натяжение).

Примечание — Общая потеря устойчивости и геометрическая жесткость райзера определяются исходя из эффективного натяжения.

3.1.167 **эффект рычага** (prying): Увеличение внешней нагрузки вследствие псевдорычажного действия, при котором действует эксцентрическая растягивающая нагрузка.

3.2 В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

З/РС — заканчивание/ремонт скважин;
К/ГТ — канат/гибкие трубы;
КИП — контрольно-измерительные приборы;
ККН — коэффициент концентрации напряжений;
МЭО — модуль экстренного отсоединения;
МКЭ — метод конечных элементов;
НБР — нижний блок райзера;
НКТ — насосно-компрессорная труба;
ОТР — основные технические решения;
ПВО — противовыбросовое оборудование;
ПИФА — палубная испытательная фонтанная арматура;
ППВО — подводное противовыбросовое оборудование;
ПФА — подводная фонтанная арматура;
СДП — система динамического позиционирования;
ТНПА — телеуправляемый необитаемый подводный аппарат;
ТУ — технические условия;
FMECA — анализ эффектов и критичности режимов отказов (failure mode, effects and criticality analysis);
HAZOP — исследование опасности и работоспособности (hazard and operability);
IMO — международная морская организация (International Maritime Organisation);
RAO — оператор амплитудной характеристики (response amplitude operator);
SCSSV — управляемый с поверхности внутрискважинный клапан-отсекатель (surface controlled subsurface safety valve).

3.3 В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

$A_{b,r}$ — площадь сечения болта по впадине резьбы;

$A_{b,s}$ — критическая площадь поперечного сечения болта;

A_c — площадь поперечного сечения трубы;

A_{int} — площадь внутреннего поперечного сечения трубы;

A_o — площадь поперечного сечения трубы по наружному диаметру, обеспечивающая плавучесть при погружении;

A_{TTS} — площадь поперечного сечения образца для испытаний на растяжение;

A_5 — удлинение при разрушении, выраженное в процентах, для образца при испытании на растяжение с расчетной длиной образца $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_{TTS}}$ или $5d$;

a — глубина трещины поверхностного дефекта или половина глубины внутренней трещины;

a_f — конечный размер трещины;

a_0 — начальный размер трещины;

$\bar{a}$ — характеристический предел выносливости или пересечение расчетной кривой S—N с осью log N;

$\bar{a}_1$ — пересечение расчетной кривой S—N с осью log N, левая часть кривой S—N;

$\bar{a}_2$ — пересечение расчетной кривой S—N с осью log N, правая часть кривой S—N;

$\bar{a}_{1,thick}$ — пересечение расчетной кривой S—N с осью log N, левая часть кривой S—N, с поправкой на размер;

$\bar{a}_{2,thick}$ — пересечение расчетной кривой S—N с осью log N, правая часть кривой S—N, с поправкой на размер;

C — параметр постоянной скорости роста трещины;

C_f — коэффициент использования для условий нагружения;

D_{FAT} — усталостное повреждение;

D_F — коэффициент использования относительно усталости;

D_{align} — соосность труба/соединитель (допуск выравнивания) по диаметру;

D_{clear} — минимальный зазор смещения по диаметру;

D_{drift} — максимальный проходной диаметр;

D_{int} — внутренний диаметр трубы;

$D_{int,\min}$ — минимальный внутренний диаметр трубы;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы;

$D_{o,\max}$ — максимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении;

$D_{o,\min}$ — минимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении;

D_{SN} — накопленное долговременное усталостное повреждение или мера усталостного повреждения в соответствии с моделью Пальмгрена-Майнера;

$D_{SN,ij}$ — усталостное повреждение при состоянии моря j и направлении волн i;

D_{weld} — валик последнего слоя сварного шва (высота) от диаметра корня сварного шва;

d — минимальный проходной диаметр;

d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта;

$d_{b,f}$ — номинальный средний диаметр болта;

d_{bh} — диаметр отверстия под болт;

d_d — диаметр образца для испытаний на растяжение;

$d_{\max}$ — максимальная глубина ниже поверхности для шлифовки;

d_n — эффективный диаметр контакта опорной поверхности гайки;

d_{nf} — размер «под ключ» гайки между параллельными гранями;

d_t — средний диаметр резьбы;

E — модуль упругости;

e — несоосность (смещение осевых линий);

e_0 — несоосность, учитываемая в данных для кривой усталости S—N;

$e_{OOR,\max}$ — максимальная несоосность, вызванная отклонением от круглости;

$e_{t,\max}$ — максимальная несоосность, вызванная различием толщин стенок;

F_b — коэффициент использования для расчета трубы на разрыв под действием внутреннего давления;

F_d — коэффициент использования;

F_{hb} — коэффициент использования для трубы, учитывающий окружную потерю устойчивости (смятие);

$F_{w,c}$ — волновые нагрузки и нагрузки от течения;

$f(S_{a,lm})$ — плотность распределения Вейбулла для амплитуды напряжений, $S_{a,lm}$;

f_m — коэффициент уменьшения размаха напряжений;

$f_s(S)$ — плотность распределения вероятности циклов напряжений;

f_0 — начальная овальность трубы;

g — ускорение свободного падения;

H_s — высота значительной волны;

H_{wrf} — высота валика сварного шва;

h — разница высот между фактической точкой, в которой определяется давление, и уровнем отсчета;

I — момент инерции в сечении;

I_n — момент спектра реакции на напряжение n-го порядка;

I_{pitch} — шаг резьбы;

I_0 — момент спектра реакции на напряжение нулевого порядка;

I_2 — момент спектра реакции на напряжение второго порядка;

i — индекс суммирования;

J — полярный момент инерции сечения;

j — индекс суммирования;

ΔK — коэффициент интенсивности напряжений;

K_F — крутильная жесткость гибкого соединения;

K_m — геометрический коэффициент концентрации напряжений;

K_{notch} — коэффициент концентрации напряжений;

ΔK_{th} — пороговое значение коэффициента интенсивности напряжений, ниже которого не происходит рост усталостной трещины;

k — число групп размаха напряжений в гистограмме;

k_{cg} — показатель степени распространения трещины;

k_1 — показатель сопротивления усталости в зависимости от толщины;

L_c — зазор;

L_F — расчетная усталостная долговечность;

L_S — срок эксплуатации;

L_{SO} — установившееся смещение судна;

L_0 — расчетная длина образца при испытании на растяжение;

l_b — длина болтового крепления (расстояние между крайними витками в зацеплении);

l_{se} — рабочая длина резьбового соединения;

M_{bm} — изгибающий момент;

$M_{b,\max}$ — максимальный крутящий момент при свинчивании;

$M_{b,\text{nom}}$ — номинальный крутящий момент при свинчивании;

ΔM_{bm} — диапазон изгибающих моментов;

M_c — предельное сопротивление изгибу для отдельной нагрузки;

M_f — изгибающий момент, необходимый для изгиба райзера З/РС;

M_G — общий изгибающий момент, действующий ниже гибкого соединения бурового райзера;

M_{pc} — пластический момент сопротивления трубы;

M_T — приложенный крутящий момент;

m — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N*;

m_1 — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N* с точкой перегиба, левая часть;

m_2 — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N* с точкой перегиба, правая часть;

N — число циклов до разрушения при постоянном размахе напряжений;

N_i — число циклов до разрушения при постоянном размахе напряжений S_i в каждой группе напряжений (блоке) *i*;

N_p — расчетное число рабочих циклов до разрушения;

N_1 — точка перегиба билинейной кривой *S*—*N*;

$N_{1,a}$ — точка перегиба билинейной кривой *S*—*N* на воздухе или в некоррозионной среде;

$N_{1,sw}$ — точка перегиба билинейной кривой *S*—*N* в морской воде с катодной защитой;

n_i — число событий в *i* группе (блоке) размаха напряжений;

n_{thr} — число витков резьбы на дюйм;

P_{br} — среднее напряжение смятия;

P_{bs} — основное изгибающее напряжение;

P_l — локальное основное мембранное напряжение;

P_m — общее основное мембранное напряжение;

P_{sh} — основное среднее касательное напряжение;

p_b — давление разрыва трубы;

$p_{b,\min}$ — минимальное давление разрыва трубы;

p_c — давление окружной потери устойчивости (смятия) трубы;

$p_{c,\min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (смятия) трубы;

p_{ec} — предельное сопротивление отдельной нагрузке от давления вследствие наличия концевой заглушки;

p_{el} — давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях;

$p_{el,\min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях;

p_{FAT} — давление при гидростатических заводских приемочных/приемо-сдаточных испытаниях;

p_{int} — внутреннее давление в заданной точке;

$p_{int,d}$ — внутреннее расчетное давление;

$p_{int,\min}$ — минимальное внутреннее гидростатическое давление;

$p_{int,o}$ — внутреннее рабочее давление;

$p_{l,int}$ — локальное внутреннее давление в заданной точке;

p_o — наружное давление в заданной точке;

p_{od} — наружное расчетное давление;

$p_{o,\min}$ — минимальное наружное гидростатическое давление;

p_p — давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса), при котором наступает пластическая деформация в поперечном сечении трубы;

$p_{p,\min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса), при котором наступает пластическая деформация в поперечном сечении трубы;

Q_{ms} — дополнительное мембранное напряжение;

Q_s — дополнительное напряжение;

q_i — вероятность *i*-го направления волны;

q_j — вероятность *j*-го состояния моря;

R_a — среднее арифметическое отклонение оцениваемого профиля шероховатости;

$R_{c,test}$ — предел прочности (несущая способность);

R_d — расчетный предел прочности (несущая способность);

R_m — заданный предел прочности при растяжении при комнатной температуре;

$R_{m/T}$ — заданный минимальный предел прочности при растяжении при заданной температуре;

R_{nc} — предельная нагрузка при нормальном режиме эксплуатации;

$R_{t0,5}$ — заданное минимальное значение условного предела текучести при 0,5 % остаточной деформации при комнатной температуре;

$R_{t0,5/T}$ — заданное минимальное значение условного предела текучести при 0,5 % остаточной деформации при расчетной/заданной температуре;

$R_{t0,5/T,stud}$ — заданное минимальное значение предела текучести материала наружной резьбы для 0,5 % относительного удлинения при заданной температуре;

$R_{t0,5/T,tapped}$ — заданное минимальное значение предела текучести материала внутренней резьбы для 0,5 % относительного удлинения при заданной температуре;

R_{uc} — пластическое разрушение или предел прочности материала;

r — средний радиус трубы;

r_m — средний радиус сечения;

r_s — радиус сечения;

S — размах напряжений;

$S_{a,lm}$ — максимум локального напряжения (амплитуда);

S_b — составляющая от изгибающего напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений;

S_d — напряжение при расчетной нагрузке;

S_{gs} — размах напряжений, вызванный наличием геометрического концентратора напряжений;

S_i — значение размаха напряжений в каждой группе (блоке) напряжений гистограммы;

S_m — составляющая от мембранного (среднего) напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений;

S_{notch} — размах напряжений в концентраторе;

S_{P+Q_s} — сумма размаха основного и дополнительного напряжений;

S_{P+Q_s+F} — сумма размаха основных, дополнительных и пиковых напряжений;

S_1 — размах напряжений в точке перегиба (билинейной кривой S—N);

$S_{1,thick}$ — размах напряжений с поправкой на толщину;

$S_{\sigma\sigma}$ — спектральная плотность функции реакции на напряжение;

$T_{b,\max}$ — максимальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании;

$T_{b,\min}$ — минимальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании;

$T_{b,\text{nom}}$ — номинальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании;

T_c — предел прочности на разрыв для отдельной нагрузки;

T_e — эффективное натяжение;

ΔT_e — диапазон циклического эффективного натяжения;

T_{eq} — эквивалентное эффективное натяжение, вызванное изгибающим моментом;

$T_{e,tot}$ — общее эффективное натяжение от морского райзера и райзера З/РС, воздействующее на гибкое соединение;

T_p — период пика спектра волны;

T_{pc} — продольная сила при пластическом растяжении;

T_{tot} — общая осевая нагрузка;

T_v — вертикальная составляющая общего эффективного натяжения $T_{e,tot}$;

T_w — истинное натяжение стенки;

T_z — период волны относительно нулевой точки;

t — толщина стенки трубы;

t_{ca} — припуск на коррозию/износ/эрозию;

Δt_{fab} — абсолютное значение олтрицательного допуска из ТУ/стандарта на материалы;

t_n — номинальная (заданная) толщина стенки;

Δt_{neg} — процентное выражение отрицательного допуска на толщину стенки;

$t_{n,\max}$ — максимальная номинальная толщина стенки;

$t_{n,\min}$ — минимальная номинальная толщина стенки;

Δt_{pos} — процентное выражение положительное допуска на толщину стенки;

t_{ref} — контрольное значение толщины, равное 25 мм (0,984 дюйм) для сварных соединений и болтов (диаметр наиболее нагруженного сечения);

t_1 — минимальная толщина стенки трубы без припусков и технологических допусков;

t_2 — толщина стенки трубы без допусков;

V_c — скорость течения;

V_{se} — срезающее усилие, действующее на гибкое соединение в результате действия нагрузок от окружающей среды на морской райзер и ППВО;

V_{sh} — общее срезающее усилие, воздействующее на гибкое соединение морского райзера;

V_w — скорость волны;

w_{BOP} — вес ППВО и НБР в погруженном состоянии, включая содержимое каналов;

w_e — вес в погруженном состоянии;

w_p — вес трубы на воздухе;

x_{pca} — допуск на несоосность трубы/соединителя;

Y — поправочный коэффициент интенсивности напряжений;

Y_u — коэффициент уменьшения предела прочности на разрыв при повышенной температуре;

Y_y — коэффициент уменьшения предела текучести при повышенной температуре;

Z — пластический момент сопротивления сечения трубы;

z — переменная в гамма-функции;

α — параметр масштаба распределения Вейбулла;

α_{bm} — параметр гибкости поперечного сечения трубы;

α_L — линейный коэффициент теплового расширения;

β — безразмерный параметр формы распределения Вейбулла;

β_{thr} — половина угла профиля резьбы, равная 30° для резьб UN;

$\Gamma(\phi)$ — гамма-функция;

$\Gamma(\phi, z)$ — верхняя неполная гамма-функция;

$\gamma(\phi; z)$ — неполная гамма-функция;

Δ_b — потеря натяжения болта при использовании растягивающего устройства;

δ_1 — расстояние по горизонтали между гибким соединением и заданной точкой;

δ_2 — расстояние по горизонтали от центра тяжести ППВО до заданной точки;

ε — разброс значений предварительной нагрузки при свинчивании;

ε_{peq} — эквивалентная пластическая деформация;

ε_t — разброс значений прикладываемого крутящего момента при свинчивании;

θ_B — угол отклонения верхнего шарового соединения бурового райзера относительно вертикальной оси дивертера;

θ_{dev} — угол отклонения вертикальной оси ППВО и корпуса колонной головки высокого давления от вертикали;

θ_F — угол отклонения нижнего гибкого соединения бурового райзера относительно вертикальной оси ППВО;

θ_G — угол отклонения нижнего гибкого соединения бурового райзера относительно вертикальной оси;

θ_W — основное направление волны;

μ_n — коэффициент трения между гайкой и опорной поверхностью;

μ_t — коэффициент трения между гайкой и резьбой болта;

μ_{st} — статистический момент локального максимума;

ν — коэффициент Пуассона;

ν_0 — средняя частота перехода через нулевое значение реакции на напряжение;

$\nu_{0,S}$ — средняя частота перехода через нулевое значение для срока эксплуатации;

ρ_{int} — плотность внутреннего флюида;

ρ_o — плотность морской воды;

σ — напряжение;

σ_{act} — фактическое среднее значение предела текучести для образцов (не менее трех образцов) при температуре испытания;

σ_b — изгибающее напряжение;

σ_{br} — среднее напряжение смятия;

σ_{eq} — эквивалентное напряжение по Мизесу;

$\Delta\sigma_{eq}$ — эквивалентный размах напряжений по Мизесу;

σ_{HS} — напряжение в критической зоне;

σ_{int} — напряжения на внутренней стороне сечения/стенки;

σ_m — мембранное напряжение;

σ_{max} — максимальное циклическое основное напряжение;

σ_{mean} — среднее циклическое напряжение;

σ_{min} — минимальное циклическое основное напряжение;

σ_N — напряжение в концентраторе;

σ_o — напряжение на внешней стороне сечения/стенки;

σ_{SD} — среднеквадратическое отклонение реакции на напряжение;

σ_{ST} — статистический момент локального максимума;

σ_u — предел прочности на растяжение для использования в расчетах при максимальной расчетной температуре;

σ_y — предел текучести для использования в расчетах при максимальной расчетной температуре;

σ_1, σ_2, σ_3 — основные напряжения в направлениях 1, 2 и 3 соответственно;

$(\Delta\sigma)_1$,$(\Delta\sigma)_2$, $(\Delta\sigma)_3$ — значения основных размахов напряжений в направлениях 1, 2 и 3 соответственно;

$(\sigma_{br})_{P+Q_s}$ — среднее значение суммы основного и дополнительного напряжения смятия;

$(\sigma_{eq})_P$ — основное мембранное напряжение по Мизесу;

$(\sigma_{eq})_{P_m+Q_{ms}+Pb_s}$ — сумма основного и дополнительного мембранных напряжений и дополнительного изгибающего напряжения по Мизесу;

$(\Delta\sigma_{eq})_{P+Q_s}$ — сумма основного и дополнительного размаха напряжения по Мизесу;

$(\sigma_{eq})_{P_l}$ — локальное основное мембранное напряжение по Мизесу;

$(\sigma_{eq})_{P_m}$ — общее основное мембранное напряжение по Мизесу;

τ — время;

$\tau_{r\theta}$ — среднее касательное напряжение;

τ_{ss} — продолжительность кратковременных состояний моря;

$(\tau_{sh})_{P_m}$ — среднее основное касательное напряжение;

ϕ_{A5} — коэффициент уменьшения пластичности;

ϕ — переменная в гамма-функции;

ω_{SR} — угловая частота реакции на напряжение.

4 Основные положения

4.1 Назначение

Раздел 4 содержит общие требования к райзерным системам З/РС.

4.2 Описание райзерных систем для заканчивания/ремонта скважин

Райзер для заканчивания скважин используют для спуска трубной головки и НКТ через буровой райзер и ППВО в ствол скважины. Райзер для ремонта скважины, как правило, используют вместо бурового райзера для спуска инструмента в скважину через ПФА, а также для монтажа ПФА. Райзер для З/РС является системой, конфигурация которой изменяется в соответствии с решаемыми задачами.

Райзеры обоих типов создают герметичный канал между стволом скважины и расположенным на поверхности оборудованием. На райзеры обоих типов действуют внешние нагрузки, нагрузки от инструмента и внутреннее давление. На райзер для заканчивания скважин также действует нагрузка, вызванная воздействием при изгибе бурового райзера, особенно в верхнем и нижнем соединениях, определяемая углами отклонения в шаровом/гибком соединениях. Райзер для ремонтных работ подвергается нагрузкам от воздействия окружающей среды, таким как нагрузки от волн и течений в сочетании с нагрузками от перемещения судна.

4.3 Создание системы райзера

В процессе создания системы райзера З/РС необходимо учитывать положения настоящего стандарта, ТУ заказчика, требования нормативной документации. Типовая блок-схема процесса создания системы райзера З/РС показана на рисунке 1.

В процессе создания системы райзера необходимо выполнить:

- подготовку исходных данных для проектирования (см. 11.3 и приложение F);
- разработку описания системы, основных технических решений (см. 4.4);
- проектирование системы (см. 4.5);
- анализ и проверку проектных решений (см. 4.6);
- верификацию системы (см. 4.17).

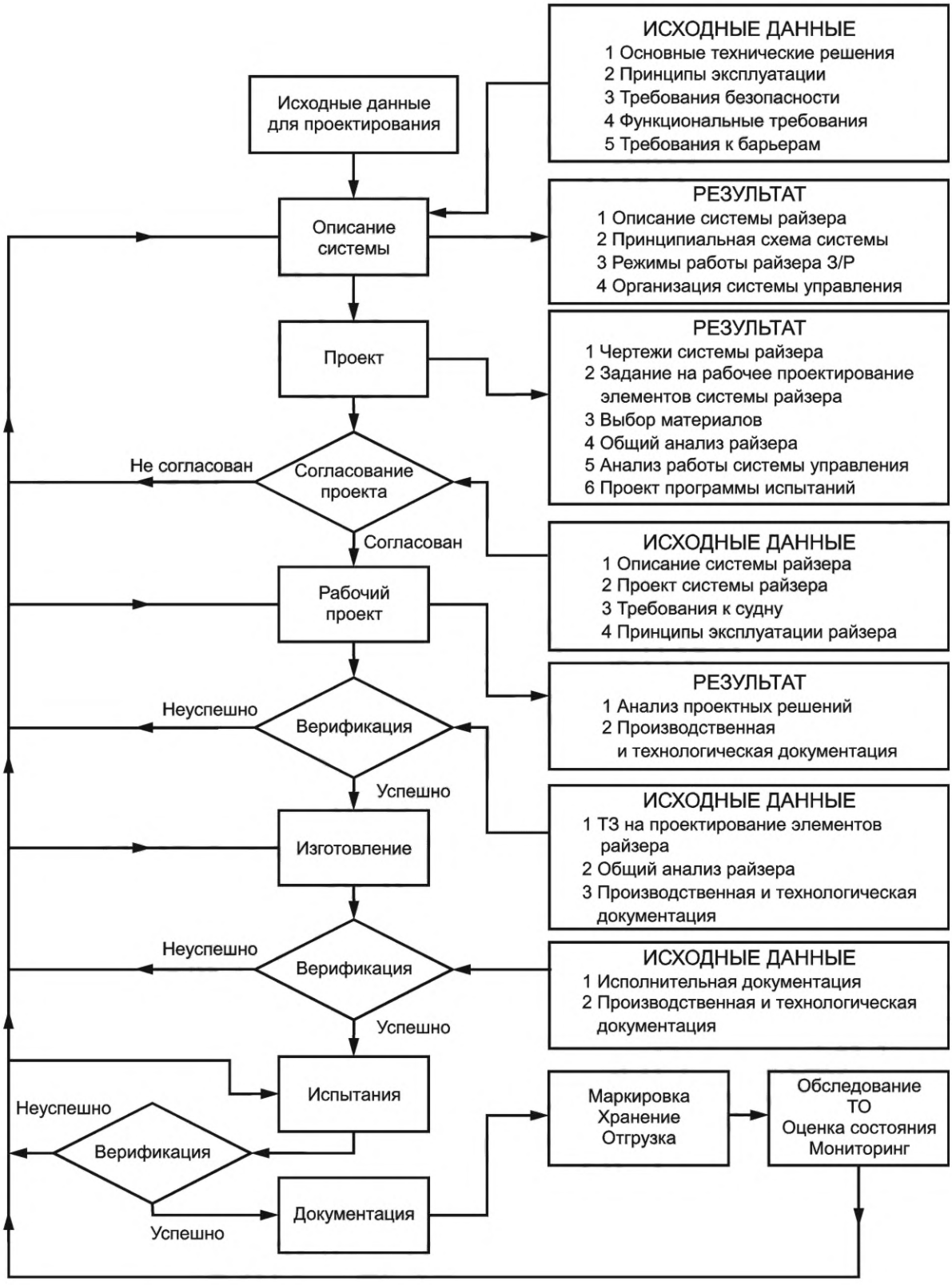


Рисунок 1 — Типовая блок-схема процесса создания системы райзера З/РС

4.4 Основные технические решения

ОТР должны соответствовать:

a) требованиям нормативно-технической документации;

b) требованиям к обеспечению барьеров (см. 4.11);

c) ТУ заказчика (см. приложение F);

d) исходным данным для проектирования (см. 11.3 и приложение F);

e) принципам проектирования (см. 4.8);

f) принципам эксплуатации (см. 4.9);

g) принципам обеспечения безопасности (см. 4.10);

h) требованиям к рабочим характеристикам (см. 4.13 и приложение B);

i) функциональным требованиям к системе и ее отдельным компонентам (см. 5.2 и 5.4).

В состав ОТР необходимо как минимум включать:

- описание райзерной системы;
- принципиальную схему райзерной системы;
- описание режимов работы райзерной системы (см. 4.7.1);
- *описание интерфейсов с оборудованием, используемым при эксплуатации райзерной системы;*
- описание режимов работы системы управления при проведении ремонтных работ в скважине (см. 4.7.2).

4.5 Проектирование райзерной системы

Проектирование райзерной системы должно быть основано на исходных данных для проектирования и ОТР. Проект райзерной системы должен как минимум включать:

- чертежи райзерной системы;
- технические задания на проектирование отдельных элементов в составе райзерной системы;
- выбор материалов (см. 6.4.3 и 7.2.1);
- общий анализ райзерной системы (см. раздел 6 и приложение B);
- анализ системы управления в процессе ремонта скважины, включая время аварийного закрытия скважины и время отсоединения райзера (см. 5.5.5 и 5.5.6);
- проект программы испытаний;
- схему внешних интерфейсов.

4.6 Анализ и проверка проектных решений

4.6.1 Общие положения

Систематический анализ и проверка проектных решений, которые необходимо проводить на основе четко определенного подхода, должны включать:

- верификацию райзерной системы на соответствие установленным требованиям;
- оценку рисков.

4.6.2 Соответствие установленным требованиям

Должны быть выполнены анализ и проверка проектных решений на соответствие райзерной системы З/РС следующим требованиям:

- требованиям нормативно-технической документации;
- требованиям к обеспечению барьеров (см. 4.11);
- ТУ заказчика (см. приложение F);
- исходным данным для проектирования (см. 11.3 и приложение F);
- принципам проектирования (см. 4.8);
- принципам эксплуатации (см. 4.9);
- принципам обеспечения безопасности (см. 4.10);
- требованиям к рабочим характеристикам (см. 4.13);
- функциональным требованиям к системе и ее отдельным элементам (см. 5.2 и 5.4).

4.6.3 Оценка риска

Оператор должен определить область и методы оценки рисков. Область оценки риска должна отражать критичность райзерной системы З/РС, критичность эксплуатации и предшествующий опыт использования аналогичных систем.

Несмотря на то, что первоочередной задачей является обеспечение целостности именно райзерной системы З/РС, в процессе оценки рисков необходимо рассматривать более широкую область,

включая скважину с подводным расположением устья, буровой райзер и ППВО, судно, условия окружающей среды и верхнее и нижнее сопряжения райзерной системы.

Целью оценки рисков должна быть идентификация критичных элементов, операций или видов деятельности, которые могут стать причиной возникновения или эскалации опасной ситуации, и разработка эффективных корректирующих мер (например, изменение проектных решений или разработка специальных разделов инструкции по эксплуатации).

Может быть выполнена количественная оценка риска для здоровья и безопасности персонала, окружающей среды и оборудования, которая, как правило, включает:

- идентификацию опасностей;
- оценку вероятности возникновения отказов;
- сценарии развития аварий;
- оценку риска и последствий.

Примечание — Следует отметить, что в соответствии с требованиями законодательства может требоваться проведение оценки рисков как минимум на общем уровне, для определения критических сценариев, которые могут подвергать риску безопасность и надежность райзерной системы З/РС. Другими методологиями идентификации потенциальных источников опасности являются анализ причин и последствий отказа и исследование опасности и работоспособности (HAZOP).

Условия, при которых может потребоваться проведение анализа райзерной системы и оценки рисков, включают:

- новые или нестандартные операции;
- проведение работ в новых регионах;
- выполнение работ с использованием новых или модифицированных судов или буровых установок;
- применение нового или модифицированного оборудования;
- участие в работах подрядчиков, не имеющих опыта работы с конкретным судном, плохо знающих особенности региона или состав выполняемых работ;
- выполнение операций, представляющих повышенную опасность (например, наличие высоких температур/высокого давления, использование системы динамического позиционирования, проведение одновременных операций, ведение работ на больших глубинах или в арктических условиях).

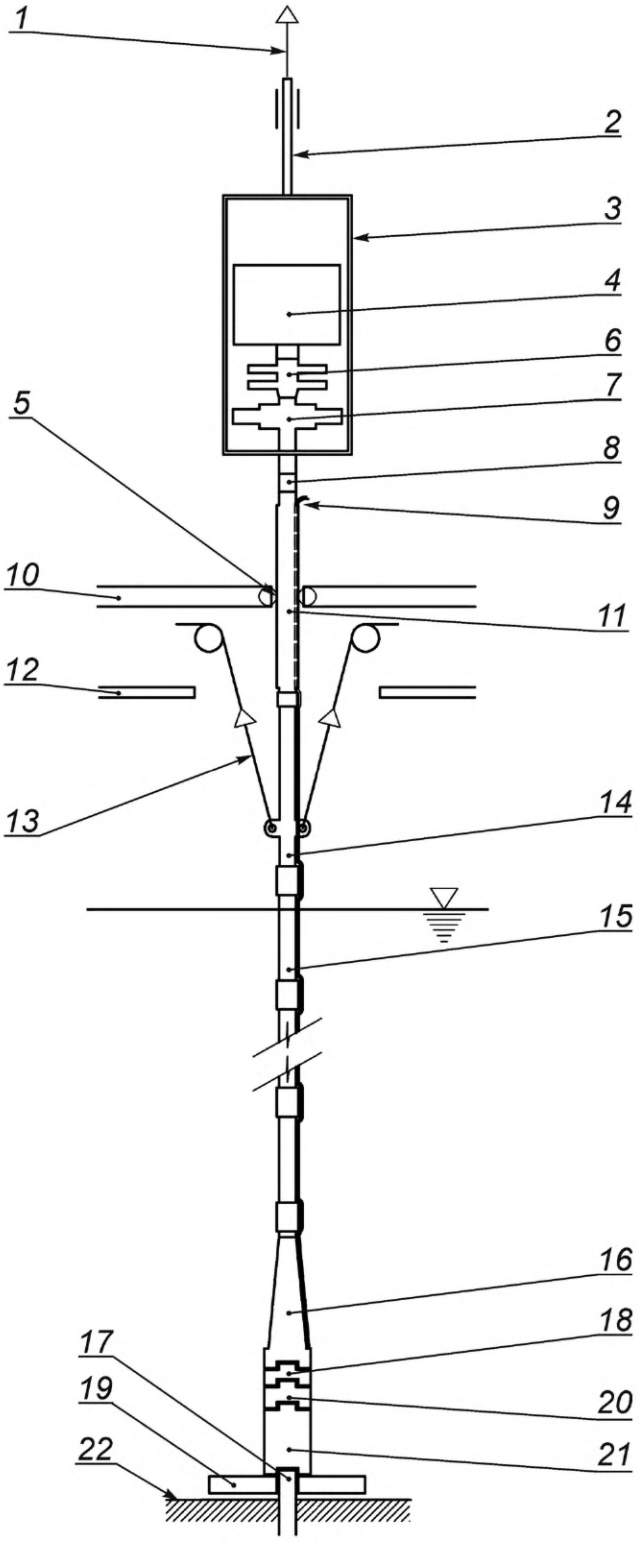
4.7 Режимы работы

4.7.1 Райзерная система

Райзерную систему З/РС используют при выполнении следующих операций:

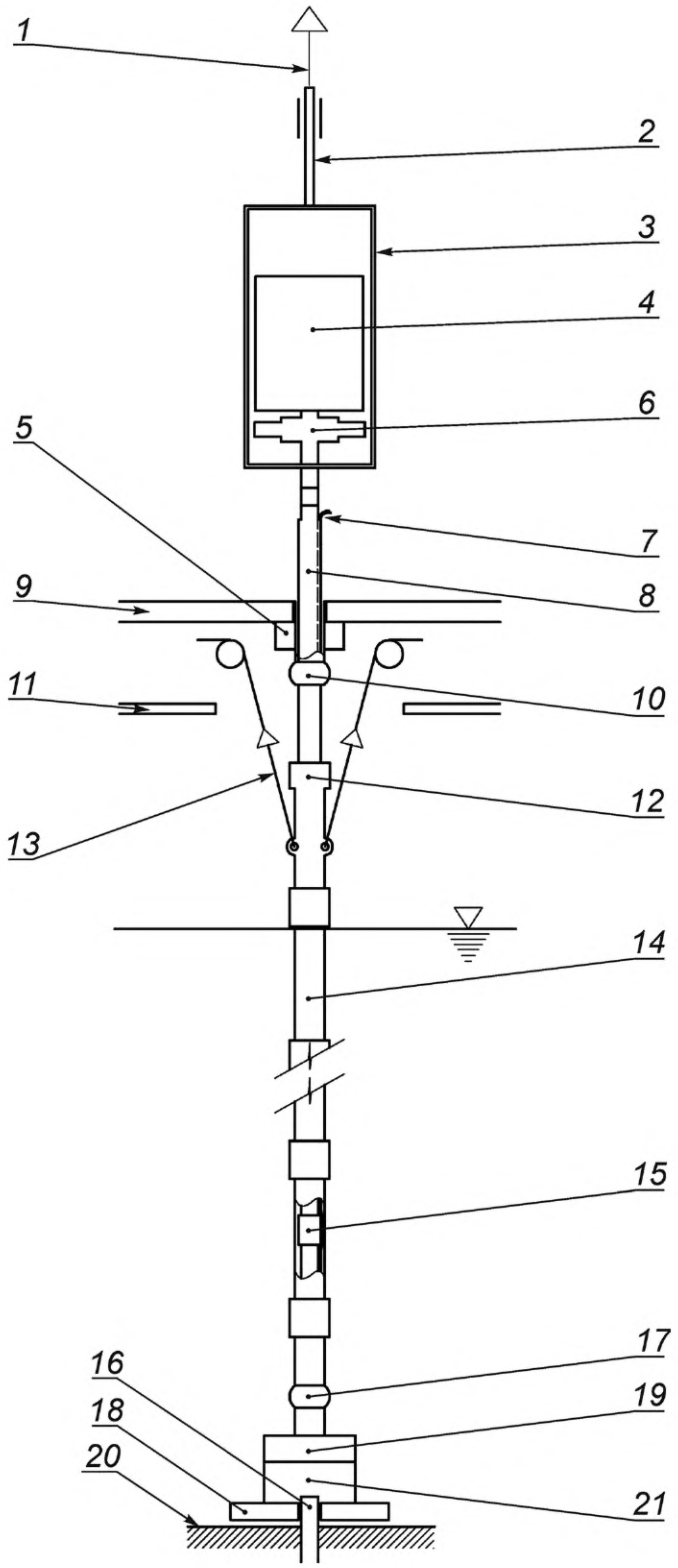
- заканчивание скважины, т. е. операции по спуску/подъему трубной головки и НКТ через буровой райзер и ППВО;
- установка/демонтаж ПФА;
- внутрискважинные работы с использованием канатной техники и гибких труб в эксплуатационной колонне или межтрубном пространстве.

Типовая схема общего расположения райзера З/РС для режима работы с ПФА показана на рисунке 2. Типовая схема общего расположения райзера З/РС для режима работы с трубодержателем НКТ представлена на рисунке 3. В данном режиме систему райзера используют для спуска нижнего заканчивания через буровой райзер и блок ППВО. Типовые схемы каждого режима работы для двух видов ПФА показаны на рисунках 4—7.



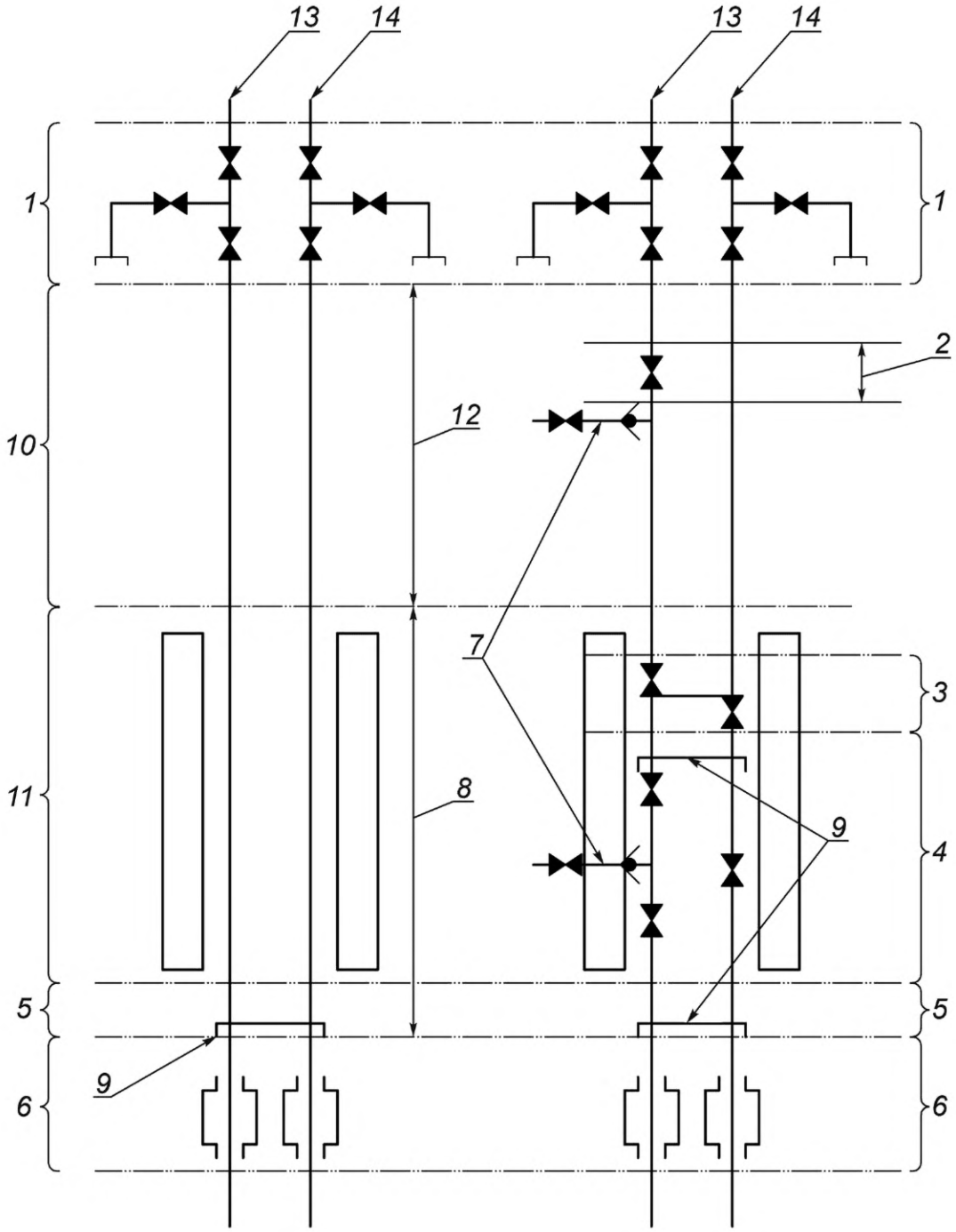
1 — верхний привод; *2* — переводник; *3* — натяжная рама ПИФА; *4* — устройство подачи гибкой трубы; *5* — роликовая втулка; *6* — надводное ПВО; *7* — ПИФА; *8* — переходник ПИФА; *9* — шлангокабель (к катушке шлангокабеля); *10* — буровая площадка; *11* — гладкое (защитное) соединение; *12* — зона буровой шахты; *13* — натяжные тросы райзера; *14* — натяжная секция; *15* — стандартные секции райзера; *16* — усиленная секция; *17* — устье скважины; *18* — модуль экстренного отсоединения; *19* — направляющая плита; *20* — нижний узел райзера; *21* — ПФА; *22* — морское дно

Рисунок 2 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС. Режим работы с ПФА



1 — верхний привод; *2* — буровой переводник; *3* — натяжная рама ПИФА; *4* — надводное оборудование; *5* — отклонитель; *6* — ПИФА; *7* — шлангокабель (к катушке шлангокабеля); *8* — секция скольжения; *9* — пол буровой вышки; *10* — шаровое соединение; *11* — зона буровой шахты; *12* — телескопическая секция; *13* — натяжные тросы райзера; *14* — секции бурового райзера; *15* — стандартные секции райзера З/РС; *16* — устье скважины; *17* — гибкое соединение; *18* — направляющее основание; *19* — НБР; *20* — морское дно; *21* — ППВО

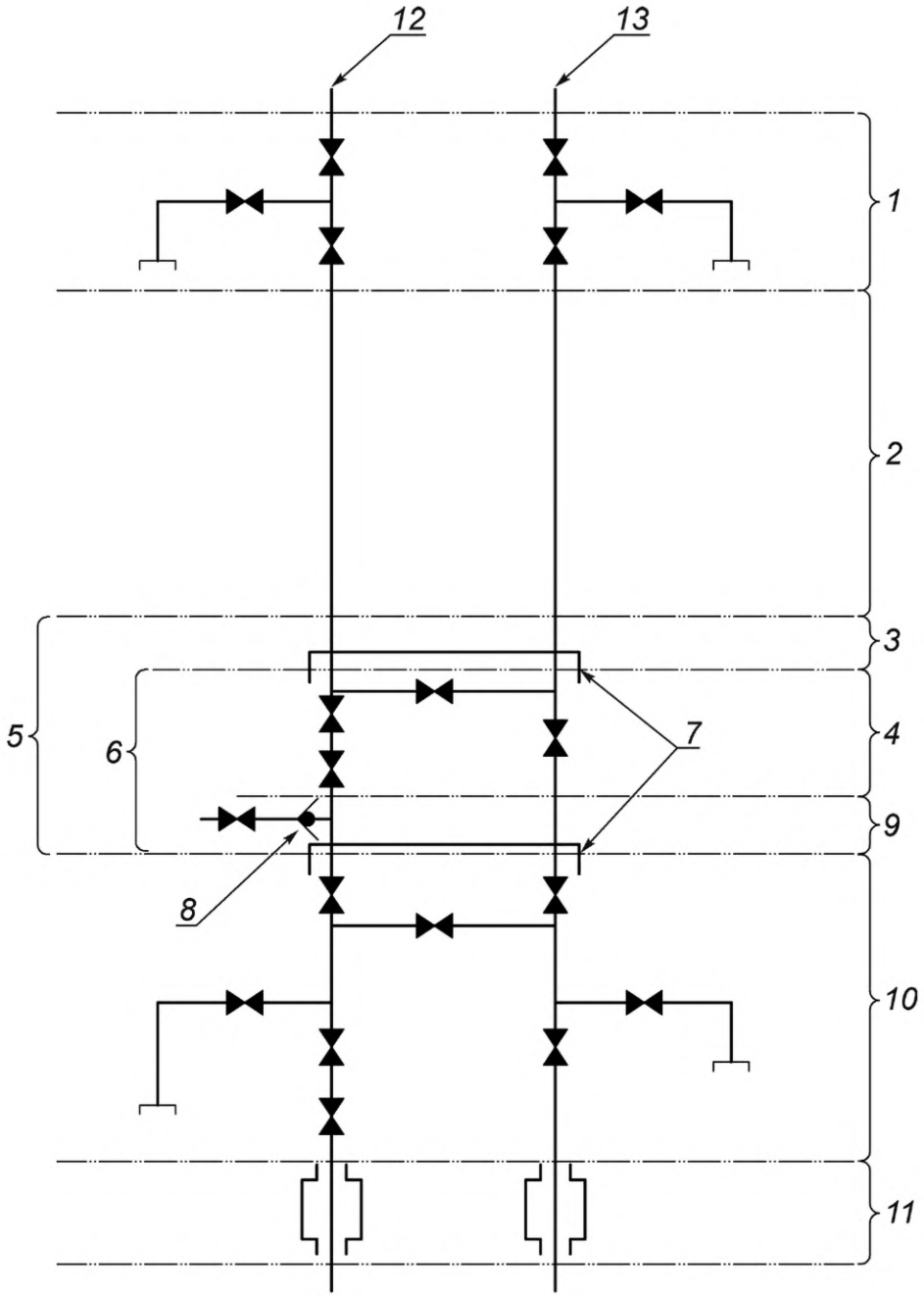
Рисунок 3 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС. Режим работы с трубодержателем НКТ



а) заглушенная скважина б) скважина под давлением

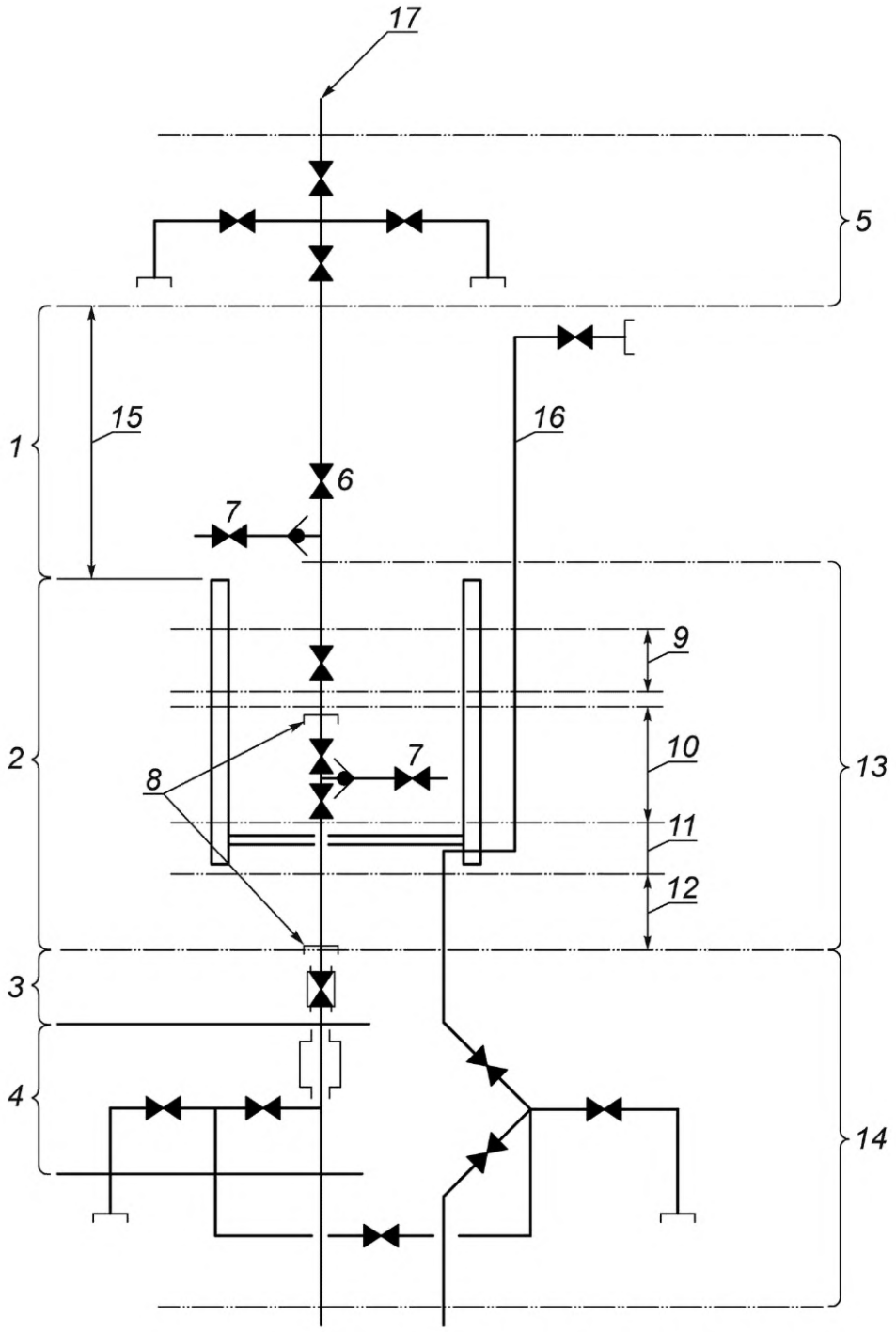
1 — ПИФА; *2* — лубрикаторная арматура; *3* — стопорный клапан; *4* — подводная испытательная арматура; *5* — инструмент для спуска трубодержателя; *6* — трубодержатель НКТ; *7* — нагнетание химических реагентов; *8* — колонна для спуска; *9* — место отсоединения; *10* — буровой райзер; *11* — блок ППВО; *12* — райзер З/РС; *13* — эксплуатационный ствол; *14* — заколонное пространство

Рисунок 4 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС — ПФА вертикального типа. Режим работы с трубодержателем НКТ



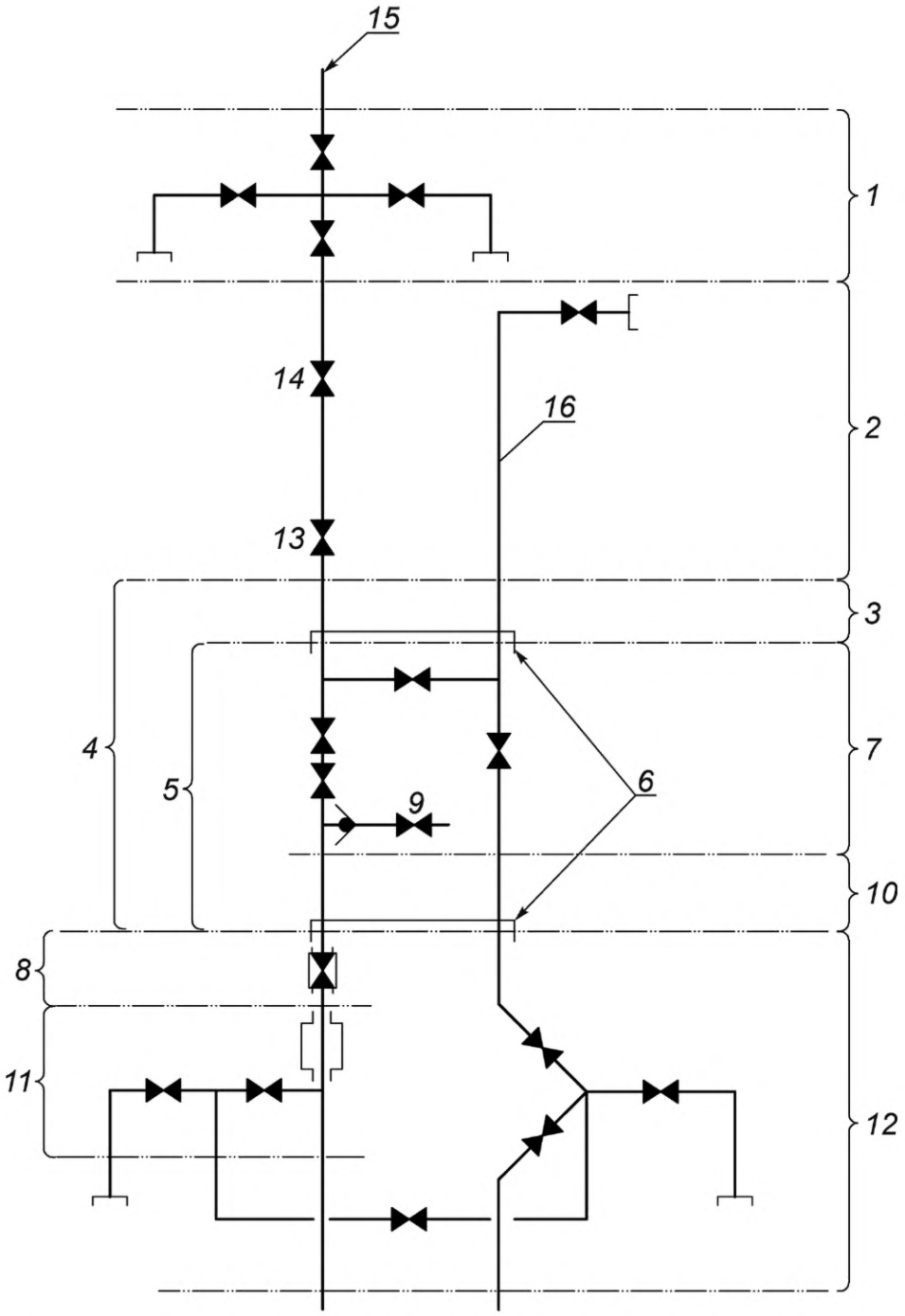
1 — ПИФА; *2* — райзер З/РС; *3* — блок аварийной расстыковки; *4* — ППВО для К/ГТ; *5* — нижний соединительный узел райзера для ремонтных работ в скважине; *6* — нижний узел райзера; *7* — место отсоединения; *8* — нагнетание химических реагентов; *9* — инструмент для спуска ПФА; *10* — вертикальная ПФА; *11* — трубодержатель; *12* — эксплуатационный ствол; *13* — заколонное пространство

Рисунок 5 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС — ПФА вертикального типа. Режим работы с ПФА



1 — буровой райзер; *2* — блок ППВО; *3* — внутренний защитный колпак ПФА; *4* — трубодержатель НКТ; *5* — ПИФА; *6* — лубрикаторная арматура; *7* — нагнетание химических реагентов; *8* — место расстыковки; *9* — стопорный клапан; *10* — подводная испытательная арматура; *11* — секция скольжения; *12* — трубодержатель НКТ или инструмент для спуска защитного колпака ПФА; *13* — колонна для спуска; *14* — ПФА горизонтального типа; *15* — райзер З/РС; *16* — дроссельная линия/линия глушения скважины; *17* — эксплуатационный ствол

Рисунок 6 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС — ПФА горизонтального типа. Режим работы с трубодержателем НКТ



1 — ПИФА; *2* — райзер З/РС; *3* — блок аварийной расстыковки; *4* — нижний соединительный узел райзера для ремонтных работ в скважине; *5* — нижний узел райзера; *6* — место расстыковки; *7* — ППВО для К/ГТ; *8* — внутренний защитный колпак ПФА; *9* — ввод химических реагентов; *10* — инструмент для спуска ПФА; *11* — трубодержатель НКТ; *12* — ПФА горизонтального типа; *13* — стопорный клапан; *14* — лубрикаторная арматура; *15* — эксплуатационный ствол; *16* — шланг циркуляции заколонного пространства

Рисунок 7 — Типовая схема общего расположения райзера З/РС — ПФА горизонтального типа. Режим работы с ПФА

Типовые режимы работы при использовании ПФА вертикального и горизонтального типов приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Типовые режимы работы

Операция[a]	Режим работы с трубной головкой	Режим работы с ПФА
Заканчивание скважины	b, c	c
Внутрискважинные работы — без водоотделяющей колонны	Не применимо	b, c
Внутрискважинные работы — через буровой райзер	b, c	Не применимо
Ремонт скважины	b, c	c

[a] Эти режимы работы являются типовыми для ПФА вертикального и горизонтального типов. Для применяемых и вновь разрабатываемых конструкций ПФА также возможны другие режимы работы.
[b] ПФА горизонтального типа.
[c] ПФА вертикального типа.

4.7.2 Система управления ремонтом скважины

Для каждого вида операций (например, с трубной головкой и с ПФА) должен быть определен режим работы системы управления, включая:

- последовательности автоматического останова и отсоединения, время срабатывания, функции задержки и функции блокировки;
- режим при отказе функций управления, где применимо (т. е. закрытие при отказе с переходом в безопасное состояние или фиксация текущего состояние на момент отказа);
- вид энергии, используемой в системе управления (т. е. гидравлическая, электрическая, пневматическая), или работа системы управления в режиме подачи химических реагентов;
- номер линии управления, размер линии, вытесняемый объем гидравлической жидкости и максимальное давление в линии;
- расположение и тип КИП;
- точки подачи химических реагентов/метанола, давление и расход реагентов.

4.8 Принципы проектирования

Проектирование элементов райзерной системы З/РС необходимо осуществлять с учетом требований настоящего стандарта. Конструкция системы должна быть отказоустойчивой.

Райзерная система должна быть разработана таким образом, чтобы любой единичный отказ не приводил к возникновению неприемлемого риска для безопасности персонала, окружающей среды или к финансовым потерям оператора.

События, приводящие к возникновению отказов по общей причине, должны быть идентифицированы, и должны быть разработаны меры по минимизации вероятности наступления таких событий.

4.9 Принципы эксплуатации

Райзерные системы З/РС необходимо эксплуатировать в соответствии с требованиями 4.13 и положениями приложения В.

Все работы, связанные с использованием райзерных систем З/РС, следует выполнять таким образом, чтобы отдельные ошибки и отказы не приводили к возникновению неприемлемого риска в отношении безопасности персонала, окружающей среды или экономических показателей проекта. Указанное требование относится как к ошибкам из-за нарушения правил эксплуатации, так и к отказам оборудования, непосредственно используемого при выполнении работ, а также вспомогательного оборудования.

Для всех видов работ конструкция райзерной системы должна быть рассчитана на наиболее неблагоприятные сочетания функциональных нагрузок, нагрузок от воздействия окружающей среды и случайных нагрузок, с учетом их одновременного воздействия (см. 6.3). Кроме того, должно быть подтверждено расчетами и отражено в проектной документации, что при возникновении нештатных ситуаций (т. е. при нарушении позиционирования судна, блокировке компенсатора вертикальных

перемещений и т. п.) величина передаваемых через райзерную систему З/РС воздействий не представляет опасности для целостности барьеров.

Указанное требование относится как непосредственно к райзерной системе З/РС и входящим в ее состав барьерам, так и в целом к комплексу оборудования (включая буровой райзер, ППВО, ПФА горизонтального типа, устьевую обвязку, колонну направления и т. д.).

Ограничение на режим эксплуатации райзерной системы З/РС необходимо устанавливать с учетом параметров наиболее слабого компонента в составе системы.

Примечание — Это требование применимо к расчетному давлению в системе, расчетной температуре и допустимым внешним нагрузкам.

4.10 Принципы обеспечения безопасности

Требования безопасности в рамках настоящего стандарта предусматривают такую организацию работ, которая исключает грубые ошибки персонала посредством обеспечения надлежащих компетенций персонала, обеспечивает соблюдение требований к организации работ, выполнение процедур верификации и формирование системы контроля качества на всех этапах выполнения работ.

Для обеспечения общей безопасности райзерной системы поставщик при выборе подходящего решения должен применять следующие принципиальные подходы в порядке их перечисления:

a) устранение опасности или снижение уровня риска до приемлемого значения;

b) использование соответствующих мер защиты от неустранимых опасностей;

c) при необходимости, информирование оператора об оставшихся опасностях и подготовка указаний для реализации специальных мер, направленных на снижение рисков в процессе монтажа, эксплуатации и демонтажа райзерной системы.

Райзерная система З/РС должна быть спроектирована таким образом, чтобы исключить возникновение опасных ситуаций в случае нарушения правил эксплуатации. Если выполнение данного требования невозможно, должны быть сформулированы соответствующие предупреждения, направленные на предотвращение нарушений правил эксплуатации райзерной системы З/РС.

4.11 Требования к обеспечению барьеров

Для всех видов работ должны быть установлены и реализованы основные принципы обеспечения барьеров с учетом требований нормативно-технических документов, в соответствии с которыми следует осуществлять эксплуатацию райзерных систем З/РС. Основные принципы обеспечения барьеров приведены в *ГОСТ Р 59305*.

Должно быть обеспечено наличие не менее двух независимых и контролируемых барьеров между продуктивным пластом и окружающей средой для исключения утечек скважинного флюида.

Любые единичные отказы барьера или отдельного элемента в составе барьера не должны приводить к потере контроля над скважиной, независимо от того, произошло это из-за ошибки оператора или отказа оборудования.

4.12 Требования нормативно-технической документации

Пользователь/оператор должен определить перечень нормативных документов, регламентирующих эксплуатацию системы.

Оборудование в составе райзерной системы З/РС, на которое распространяется действие настоящего стандарта, должно быть спроектировано, изготовлено и испытано в соответствии со стандартами, указанными в таблице 2.

Компоненты, на которые не распространяются требования настоящего стандарта, но которые влияют на проектирование, изготовление и эксплуатацию райзерных систем З/РС, должны быть включены в процесс анализа проекта системы.

Таблица 2 — Стандарты, которые должны быть использованы при проектировании оборудования

Элементы райзерной системы З/РС	Функциональные требования	Проектирование	Требования к материалам и изготовлению	Испытания элементов системы	Комплексные испытания системы
Трубная головка	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	Раздел 8
Инструмент для спуска трубной головки	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	Раздел 8
Инструмент для спуска колпака ПФА (горизонтального типа)	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*	Раздел 8
Система ориентации трубной головки	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Подводная арматура для испытаний	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8, *ГОСТ Р 51365*[b]	Раздел 8
Срезной переводник	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 5, Раздел 8	Раздел 8
Стопорный клапан	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8, *ГОСТ Р 51365*[b]	Раздел 8
Клапан лубрикатор	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8, *ГОСТ Р 51365*[b]	Раздел 8
Нижний блок райзера для ремонтных работ	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
ППВО для К/ГТ	Раздел 5	Раздел 6, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*[d], *ГОСТ Р ИСО 13533*[d]	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a,f]	Раздел 8, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a,c], *ГОСТ Р ИСО 13533*[c,d]	Раздел 8
Соединитель модуля экстренного отсоединения	Раздел 5	Раздел 6, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*[e]	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a,f]	Раздел 5, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a]	Раздел 8
Инструмент для спуска ПФА	Раздел 5, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*	Раздел 6, *ГОСТ Р ИСО 13628-4*[e]	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a,f]	*ГОСТ Р ИСО 13628-4*[a]	Раздел 8
Соединитель райзера	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Приложение J	Раздел 8
Соединение под нагрузкой	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Секции райзера	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Натяжная секция	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Гладкое соединение труб	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Адаптер ПИФА	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Вертлюг	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
ПИФА	Раздел 5	Раздел 6, *ГОСТ Р 51365*[e]	*ГОСТ Р 51365*[a,f]	Раздел 8, *ГОСТ Р 51365*[a,c,d]	Раздел 8
Адаптеры для К/ГТ	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8

Окончание таблицы 2

Элементы райзерной системы З/РС	Функциональные требования	Проектирование	Требования к материалам и изготовлению	Испытания элементов системы	Комплексные испытания системы
Натяжная рама ПИФА	Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7	Раздел 8	Раздел 8
Спайдер райзера	Раздел 5	*ГОСТ 31841*	*ГОСТ 31841*	Раздел 8, *ГОСТ 31841*	Раздел 8
Инструменты для обслуживания и испытаний	Раздел 5	Раздел 6, *ГОСТ 31844*	Раздел 7	Раздел 8, *ГОСТ 31844*	Раздел 8
Хомуты шлангокабеля	Раздел 5	ТУ поставщика	ТУ поставщика	Раздел 5, Раздел 8	Раздел 8
Линии циркуляции заколонного пространства	Раздел 5	*[1], [2], ГОСТ Р 59309*	*[3], ГОСТ Р 59309*	Раздел 5, Раздел 8	Раздел 8
Система управления ремонтными работами в скважине	Раздел 5	Раздел 5, *ГОСТ Р 71160*	*ГОСТ Р 71160*	*ГОСТ Р 71160*	Раздел 8
Управляющий шлангокабель	Раздел 5	*ГОСТ Р 71204*	*ГОСТ Р 71204*	*ГОСТ Р 71204*	Раздел 8

[a] Заказчик должен указать уровень технических требований к оборудованию (PSL), класс материала и уровень технических требований к рабочим характеристикам, как определено в *ГОСТ Р 51365* и *ГОСТ Р ИСО 13628-4*.

[b] Классификация условий эксплуатации, как определено в *ГОСТ Р 51365*, требования к срезанию каната или гибкой трубы и более жесткие критерии обеспечения герметичности, если применимо, должны быть указаны заказчиком.

[c] Любые требования к возможности срезания каната или гибкой трубы и более жесткие критерии обеспечения герметичности, если применимы, должны быть указаны заказчиком.

[d] Компоненты, квалифицированные в соответствии с *ГОСТ Р 51365* и *ГОСТ 31844*, квалифицируют только для условий, определяемых воздействием давления и температуры. Соединенные с райзером компоненты, требования к которым установлены в *ГОСТ Р 51365* и *ГОСТ Р ИСО 13533*, должны быть квалифицированы для условий их применения.

[e] Обычной отраслевой практикой является проектирование и квалификация оборудования такого типа для расчетных размеров и номинальных значений рабочего давления. Методы проектирования, определенные в 5.1 *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016* и 5.4 *ГОСТ Р ИСО 13533—2013,* основаны только на номинальном рабочем давлении и давлении гидростатического испытания. Для применения райзеров З/РС обычной отраслевой практикой является выполнение условия непревышения результирующих нагрузок при сочетании нагрузок, определяемых в настоящем стандарте (т. е. нагрузок при нормальных, экстремальных и случайных условиях нагружения), номинальных характеристик оборудования.

[f] Для обеспечения требований нормативных документов и требований заказчика могут быть указаны более жесткие значения ударной вязкости материала по Шарпи.

4.13 Требования к рабочим характеристикам

4.13.1 Общие положения

Райзер З/РС применяют для решения ограниченного перечня задач; он имеет ограниченный рабочий диапазон эксплуатационных условий. В случаях, когда условия эксплуатации выходят за пределы допустимых значений, райзер должен быть либо отсоединен и вывешен, либо поднят.

Необходимо осуществлять мониторинг условий работы райзерной системы З/РС для подтверждения, что райзер работает в пределах установленных ограничений (см. 8.4 и приложение В). Условия эксплуатации могут включать такие параметры, как высота и период волны, вертикальные перемещения судна, смещение судна и верхнее натяжение райзера.

Требования к рабочим характеристикам должны быть изложены в специальном документе «Руководство по монтажу и эксплуатации райзера» (см. 9.9 и приложение В). Руководство должно быть подготовлено совместно проектировщиком и оператором и должно определять процедуры безопасной установки, эксплуатации и технического обслуживания райзерной системы и ее элементов. Руковод-

ство должно включать описание рабочих процедур, допустимые значения перемещений судна и условий окружающей среды, описание интерфейсов райзера на судне, порядок установки и извлечения райзера, описание операций в процессе эксплуатации, основные принципы обследования и технического обслуживания.

Для безопасной эксплуатации райзера необходимо, чтобы:

a) при проектировании были учтены реальные условия, в которых будет эксплуатироваться райзер;

b) эксплуатирующий персонал был ознакомлен с условиями безопасной эксплуатации райзера и соблюдал их.

Перемещения судна и характеристики системы позиционирования могут оказывать существенное влияние на конструкцию райзера и его эксплуатацию. Некоторые операции, такие как спуск или подъем райзера, внутрискважинные работы и операции со спуском трубной головки, могут быть ограничены или прекращены в зависимости от фактических перемещений судна и условий окружающей среды. Следует учитывать последовательности планового и аварийного останова работ и отсоединения райзера. Эти последовательности должны соответствовать требованиям нормативных документов и внутренним стандартам оператора.

Существует два типа отсоединения райзера: штатное или плановое отсоединение и быстрое или аварийное отсоединение. Быстрое или аварийное отсоединение райзера может потребоваться при возникновении аварийной ситуации на судне или в скважине, в случае отказа системы позиционирования или внезапных изменений погодных условий, выходящих за пределы значений, установленных для рабочих режимов райзера.

4.13.2 Эксплуатация райзера с судна, оснащенного системой динамического позиционирования

Особые требования должны быть разработаны для эксплуатации райзерной системы З/РС с судна, оснащенного СДП.

Должны быть разработаны предупредительные меры, направленные на снижение вероятности наступления и уменьшение последствий сноса/увода судна. Вид и степень реализации предупредительных мер должны быть определены в проекте системы райзера (см. 4.6).

Предупредительные меры, связанные со сносом/уводом судна, могут быть разделены на две основные категории:

a) меры, направленные на снижение вероятности сноса/увода судна;

b) меры, направленные на уменьшение последствий сноса/увода судна.

Последствия сноса/увода судна могут быть разделены на три основные категории:

- возникновение неконтролируемых утечек в результате сноса или увода судна;
- последствия для подводного оборудования (включая ППВО, ПФА, устьевое оборудование и т. д.);
- последствия для райзеров (райзер З/РС, буровой райзер, НБР и т. д.) и для оборудования на палубе судна (буровая вышка, буровая лебедка, буровая площадка, соединители и т. д.).

Типовые превентивные меры, направленные на уменьшение вероятности сноса/увода судна, приведены в таблице 3, на уменьшение последствий сноса/увода судна — в таблице 4.

Таблица 3 — Меры, направленные на уменьшение вероятности сноса/увода судна

Система	Предупредительные меры	Комментарии
Система динамического позиционирования	Технические требования к классу СДП в соответствии с *ГОСТ Р 58773*	Как правило, класс 3 IMO. Не ниже, чем IMO, класс 2 *[4]*
Система определения положения судна	Обоснование минимального числа независимых систем определения положения, точности и стабильности позиционирования	Рекомендуется минимум три независимых системы автоматизированного определения положения, независимо от класса динамического позиционирования
	Для небольших глубин (<350 м) особое внимание должно быть уделено точности и стабильности позиционирования	Типовые системы определения положения: глобальная навигационная спутниковая система; гидроакустическая, электромеханическая система, отслеживающая угол наклона райзера

Окончание таблицы 3

Система	Предупредительные меры	Комментарии
Пропульсивная установка	Максимальное использование системы динамического позиционирования в процессе работ	Следует определить и документально оформить параметры погодных условий, при которых достигается 80 %-ный уровень используемой мощности движителей
	Не следует превышать уровень 80 % от мощности движителей	—

Таблица 4 — Меры, направленные на уменьшение последствий сноса/увода судна

Объект	Превентивные меры	Комментарии
Продуктивный пласт	Выполнение операций при избыточном гидростатическом давлении в скважине	—
Буровой райзер и райзер З/РС	Принцип наличия «слабого звена» в конструкции	Невозможность передач через райзеры нагрузки такого значения, которое представляет опасность для барьеров
ПВО, НБР, нижний соединительный узел райзера для ремонтных работ в скважине, ПФА для испытаний	Быстрое аварийное закрытие скважины и аварийное отсоединение	Полностью автоматизированные системы аварийного отсоединения, обеспечивающие проведение испытаний срабатывания
Судно	Система динамического позиционирования	Применимо только в отношении сноса. Увеличение времени достижения критических пределов
ПВО, НБР, ПФА для испытаний	Разработка процедур	Общие рабочие процедуры для бурового райзера и райзерных систем З/РС

Перечисленные ниже факторы следует включать в анализ системы райзера для идентификации последствий отказа СДП и выбора превентивных мер:

a) параметры режима работы (с ПФА или трубной головкой);

b) возможное смещение судна в результате сбоя позиционирования (снос/увод);

c) параметры окружающей среды (глубина моря в точке проведения работ, волнение и течения);

d) время аварийного закрытия райзерной системы З/РС и последовательности аварийного отсоединения;

e) угол, при котором происходит срабатывание модуля экстренного отсоединения;

f) конструктивная прочность барьеров подводного оборудования (устья скважины, ПФА, нижнего соединительного узла райзера, испытательной секции в составе колонны для спуска и т. д.);

g) подъем верхней собранной части колонны для спуска через ППВО бурового райзера;

h) пространство между ПИФА и полом буровой установки;

i) ход компенсатора вертикальных перемещений буровой лебедки судна;

j) время аварийного закрытия ППВО бурового райзера и продолжительность выполнения аварийного отсоединения.

4.14 Требования к организации и квалификации персонала

До начала выполнения любых работ, предусмотренных настоящим стандартом, должна быть подготовлена схема организации основного персонала с выделенными областями ответственности и линиями связи. Организация работ на всех этапах должна обеспечивать безопасность их выполнения.

Весь персонал должен иметь необходимую квалификацию и практическую подготовку для выполнения работы надлежащим образом. Квалифицированный персонал должен иметь достаточные на-

выки устной и письменной речи на языке, используемом как общий язык при выполнении работ. Должна быть подготовлена документация в области обеспечения и контроля квалификации персонала.

4.15 Менеджмент качества

Для обеспечения соответствия требованиям настоящего стандарта следует использовать систему менеджмента качества.

Примечание — *ГОСТ Р ИСО 9000* содержит требования к выбору и применению систем менеджмента качества.

4.16 Документация, журналы учета и прослеживаемость

Для райзерной системы З/РС должна быть подготовлена эксплуатационная документация в соответствии с настоящим стандартом, определяющая требования к оборудованию и компонентам в составе райзерной системы, имеющим особое значение для безопасности проведения работ. Документация должна включать описание процедур испытаний и технического обслуживания, необходимых для обеспечения заданного уровня безопасности. Все содержащие требования документы должны быть отражены в реестре документов.

Документация должна быть доступна заказчику или его агентам. Должны быть согласованы процедуры предоставления и/или утверждения документов. Проектная документация должна включать сборочные чертежи, ведомости деталей и проектные расчеты. Должны быть определены процедуры ознакомления с документами, защищенными правом собственности или признанными конфиденциальными.

Ведение журналов учета событий при эксплуатации райзерной системы З/РС должно обеспечивать подтверждение соответствия требованиям настоящего стандарта на протяжении всего срока службы райзера.

Должна быть обеспечена прослеживаемость для всей информации, имеющей существенное значение для безопасности и работоспособности райзера З/РС на протяжении всего срока службы.

4.17 Верификация

Верификацию проектирования, изготовления и испытаний необходимо выполнять в соответствии с общей программой и планом верификации, *разрабатываемым заказчиком*. При организации и подготовке заключения должна быть обеспечена организационная независимость исполнителей работ и тех, кто отвечает за верификацию. Должно быть подтверждено, что требования настоящего стандарта, спецификации заказчика и нормативные требования были выполнены.

Объем и методы верификации необходимо оценивать на разных этапах. Особое внимание следует уделять последствиям любого отказа или дефекта, которые могут возникнуть во время изготовления райзера З/РС и его последующей эксплуатации.

Должна быть выполнена верификация проектной документации для подтверждения соответствия райзерной системы З/РС требованиям настоящего стандарта в отношении используемых материалов, конструкции и размеров элементов, соблюдения требования к процедурам и персоналу в процессе изготовления и эксплуатации.

Результаты верификации должны быть оформлены документально.

Верификация может иметь форму проверки расчетов, конструктивных решений и параметров технологических процессов при выполнении работ или быть проведена в виде независимого анализа. Верификация также может включать опробования или испытания оборудования и систем.

Многопрофильный анализ проекта также может быть использован как часть верификации.

4.18 Ответственность заказчика/пользователя

Заказчик/пользователь или его уполномоченный агент несет ответственность за подготовку технического задания на разработку райзерной системы З/РС в соответствии с настоящим стандартом. Техническое задание на разработку должно содержать детальную информацию, достаточную для формирования исходных данных для проектирования райзера З/РС в соответствии с требованиями настоящего стандарта. Руководство по поставке, представленное в приложении F, содержит пример формы технического задания пользователя на разработку системы райзера.

4.19 Ответственность поставщика

Поставщик несет ответственность за соответствие райзера всем требованиям настоящего стандарта и условиям, указанным в технических требованиях заказчика/пользователя к изделию и в документации поставщика в соответствии с разделом 9.

Требования, которые не указаны заказчиком в явном виде, но могут повлиять на конструкцию, материалы, изготовление и сборку, испытания и эксплуатацию райзерной системы З/РС, должны быть определены поставщиком.

5 Функциональные требования

5.1 Назначение

Раздел 7 определяет функциональные требования к райзерной системе З/РС, ее подсистемам и компонентам.

5.2 Функциональные требования к системе

Райзерная система З/РС должна удовлетворять следующим требованиям, с учетом конкретных условий эксплуатации:

- обеспечивать возможность испытания скважин, проведения внутрискважинных работ с использованием канатной техники и гибких труб, обеспечивать перекрытие скважины;
- формировать герметичный канал с отдельными линиями обвязки ПФА или трубной головки до бурового судна/установки;
- обеспечивать прохождение подаваемого с бурового судна флюида и инструментов через каналы в ПФА и трубной головке;
- обеспечивать герметичный канал для всех используемых флюидов и их циркуляцию в стволе скважины;
- направлять инструмент и оборудование в процессе спуска в скважину и извлечения из нее;
- обеспечивать безопасное и эффективное соединение элементов райзера на полу буровой установки или в специально предназначенной рабочей зоне;
- выполнять функцию колонны для спуска ПФА;
- выполнять функцию колонны для спуска трубной головки;
- обеспечивать прохождение райзера З/РС через буровой райзер и противовыбросовый превентор;
- обеспечивать спуск райзера З/РС без применения бурового райзера;
- предоставлять средства для подключения внешних и соединения внутренних управляющих линий ПФА или инструментов для спуска, при необходимости.

5.3 Требования к шаблону

Представленные в настоящем стандарте требования к шаблону применимы к компонентам райзера в дополнение к любым требованиям к шаблону, определенным в других документах.

Каждая трубная секция райзера З/РС или компонента в составе райзера, через которые будет проходить инструмент, должны быть проверены шаблоном.

Заказчик должен установить требования к шаблону для проходных каналов трубной головки.

Если применимо, компоненты райзера должны быть спроектированы и испытаны с использованием шаблона в соответствии с одним из классов, приведенных в таблице 5. Размеры шаблона показаны на рисунке 8. Диаметры шаблонов в зависимости от класса приведены в таблице 5.

Отклонения от приведенных размеров шаблонов должны быть согласованы заказчиком.

В качестве альтернативы приведенным размерам шаблонов можно использовать размеры профиля конкретного инструмента.

При выборе конкретного минимального внутреннего диаметра трубы райзера особое внимание следует уделять изгибу трубы райзера, зоне прохождения потока во время операций с колонной для спуска инструмента, изменениям положения центральной оси и наличиям выступов в оборудовании.

Таблица 5 — Диаметры шаблонов в зависимости от класса

Класс шаблона	Наименьший диаметр d	Наибольший диаметр D_{drift}	Соответствующий типоразмер арматуры/ фланца по *ГОСТ Р 51365*
	мм $^{+0,71}_{0}$	мм $^{+0,71}_{0}$	мм
1a	35,51	38,51	52
1b	37,03	40,03	52
1c	45,29	48,29	52
1d	48,56	51,56	52
2a	67,82	72,82	78
2b	71,96	76,96	78
3a	91,36	97,36	103
3b	96,36	102,36	103
4a	123,29	129,29	130
4b	115,08	121,08	130
5a	153,04	161,04	162
5b	149,45	155,45	162
5c	145,44	151,44	162
6	164,69	170,69	—
7	172,56	178,56	179
8	221,84	227,84	228

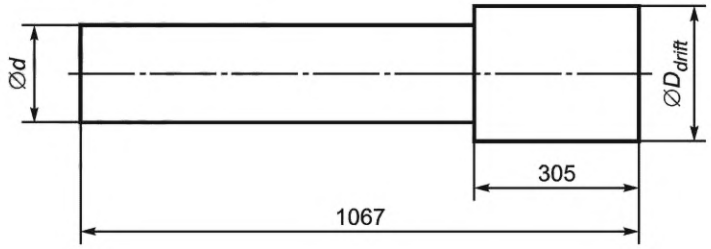


Рисунок 8 — Размеры шаблона

5.4 Требования к компонентам

5.4.1 Назначение

В 5.4 приведены требования к отдельным компонентам, входящим в состав райзерной системы З/РС. Для каждого компонента определены функции и интерфейсы.

5.4.2 Общие требования

Ниже приведены требования, общие для всех компонентов в составе райзера:

а) конструкция системы З/РС должна обеспечивать возможность технического обслуживания компонентов. Должна быть обеспечена возможность обследования и очистки компонентов как снаружи, так и внутри. Переводники ППВО и другие детали системы, где в замкнутых объемах может удерживаться морская вода или скважинные флюиды, должны легко демонтироваться. Уплотнения и прокладки должны быть доступны для обследования и легко заменяться непосредственно на судне;

b) все компоненты райзерной системы З/РС должны быть спроектированы с учетом нагрузок, имеющих место при свинчивании/развинчивании оборудования, внешних нагрузок, воздействия давления и температуры;

c) в интерфейсах компонентов и соединительных элементах райзера в качестве основных уплотнений для обеспечения герметичности в отношении углеводородов, жидкости системы управления, технологических жидкостей для заканчивания и глушения скважин можно использовать уплотнения из упругих материалов, эластомеров или уплотнения «металл к металлу». Если не используют уплотнение «металл к металлу», в дополнение к основному уплотнению должно быть предусмотрено резервное уплотнение;

d) нагрузки от давления при отсоединении должны быть рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия в уплотнении (т. е. следует принимать во внимание утечку по наибольшему диаметру дополнительного уплотнения, если не предусмотрена система сброса давления);

e) при использовании герметичных уплотнений, подверженных воздействию внешней среды, особое внимание следует уделить установлению избыточного давления в линиях системы управления при возможном контакте со средой в эксплуатационной колонне или заколонном пространстве. В проекте также следует учитывать воздействие нагрузки от давления, действующей в зоне, ограниченной таким уплотнением, поскольку в одном или нескольких внутренних уплотнениях могут возникнуть утечки;

f) соединения, подверженные только давлению внешней среды, должны быть снабжены системой(ами) уплотнений, обеспечивающей(ими) герметичность при воздействии как внешнего, так и внутреннего давления;

g) все уплотнения должны быть квалифицированы на соответствие давлению, температуре, составу флюидов и области применения;

h) герметичность корпуса компонента и соединителя должна удовлетворять требованиям 6.4.11.5;

i) элементы, являющиеся барьером для скважинной среды, должны оставаться герметичными после возникновения возможных аварийных ситуаций (см. 6.4.11.5);

j) если необходимы более жесткие требования к герметичности проходных каналов компонентов, чем требования, установленные в применяемых стандартах (см. таблицу 2), то это должно быть указано в ТУ заказчика;

k) внутренние поверхности всех вертикальных каналов должны быть гладкими, не содержать острых выступов и должны обеспечивать проход соответствующих шаблонов;

l) все клапаны в вертикальных каналах должны обеспечивать прохождение шаблона;

m) вся арматура должна быть рассчитана на закрытие в направлении движения потока в условиях максимального расхода и давления;

n) если не используют коррозионно-стойкие материалы, должен быть предусмотрен припуск на коррозию. Припуск на коррозию и/или использование коррозионно-стойких материалов необходимо рассматривать для заданных параметров углеводородов, флюидов, используемых для заканчивания скважины, интенсификации притока и глушения скважины, которые будут проходить через систему райзера, и сред, используемых при техническом обслуживании и хранении (см. 6.4.4);

o) все компоненты, которые могут быть подвержены воздействию избыточного внешнего давления (например, гидростатического давления), должны быть рассчитаны на сопротивление смятию (см. 6.5.2.3 и 6.5.3.3);

p) для всех компонентов, которые могут быть подвержены воздействию давления системы противовыбросового превентора (например, давление испытания ППВО, давление в линиях дросселирования и глушения скважин), необходимо учитывать воздействия осевых нагрузок с разных сторон уплотнения (т. е. поршневой эффект) в комбинации с другими условиями нагружения;

q) райзерная система для внутрискважинных работ должна быть рассчитана для монтажа с использованием направляющих канатов или без них в соответствии с условиями применения;

r) конструкция направляющих систем должна предусматривать допуски при уплотнении, угол повторного ввода и освобождения, повреждения интерфейсов систем управления и поверхностей уплотнения, возможность доступа к существующим направляющим канатам, стойкам или направляющим раструбам, где применимо;

s) проушины и устройства, используемые для подъема оборудования, должны быть разработаны в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016* (подпункт 5.1.3.7);

t) болтовые фланцевые соединения следует собирать и фиксировать до достижения предварительной затяжки болтов, величина которой установлена в соответствии с документально оформленной

процедурой, подтвержденной при испытаниях. Общие руководства по сборке фланцевых соединений на болтах приведены в *[5]*;

u) болтовые фланцевые соединения должны собирать монтажники, аттестованные для выполнения таких работ. Монтажники болтовых фланцевых соединений должны пройти аттестацию, подтверждающую их способность выполнения документально оформленных процедур, обеспечивающих достижение заданной затяжки болтов.

5.4.3 Колонна для спуска

Колонна для спуска должна включать все оборудование, необходимое для безопасной установки и извлечения трубной головки.

Колонна для спуска должна:

- обеспечивать при необходимости возможность ориентации трубной головки;
- допускать проведение гидравлического испытания ППВО при нахождении колонны для спуска в проходном канале превентора;
- соответствовать конструктивным и функциональным требованиям (например, устойчивость к осевым нагрузкам, обеспечение транспорта флюидов при заданном давлении), аналогичным стандартной секции райзера З/РС;
- быть рассчитана на внешнее давление (т. е. давление испытания ППВО, давление ППВО при дросселировании и глушении скважины и т. д.) в комбинации с другими условиями нагружения;
- обеспечивать возможность перекрытия скважины с помощью ППВО или компонентов в составе самой колонны для спуска, если ППВО не обеспечивает перекрытие скважины;
- включать средства отсоединения колонны для спуска от трубной головки;
- включать оконечные устройства для линий управления в верхней части и прохождение всех гидравлических/электрических линий от верхней части райзера до оборудования в колонне для спуска и трубной головке, как предусмотрено системой;
- обеспечивать разъединение райзера и трубной головки в нештатной ситуации, обеспечивая при этом безопасное состояние скважины.

Конструкция колонны для спуска и ее отдельных компонентов должна включать элементы, ограничивающие угол поворота, для обеспечения необходимой ориентации трубной головки и предотвращения воздействия крутящего момента на гидравлические соединители. Определение требуемого крутящего момента осуществляют на основе значений максимального угла поворота, необходимого для ориентации трубной головки и компенсации крутящего момента от внутрискважинного оборудования и райзера З/РС. Сопротивление закручиванию следует определять при статических и динамических воздействиях (например, осуществление ориентации при максимальной скорости спуска). Для трубных головок, не требующих ориентации, элементы, ограничивающие угол поворота, можно не применять.

5.4.4 Подводная испытательная арматура

Подводная испытательная арматура должна быть отказобезопасной и должна обеспечивать возможность оставления скважины в безопасном состоянии.

Подводная испытательная арматура должна находиться в пределах габаритов ППВО. Конструкция подводной испытательной арматуры должна включать устройство для разъединения, позволяющее отсоединить и извлечь райзер независимо от подводной испытательной арматуры.

Конструкция подводной испытательной арматуры должна включать верхний изолирующий клапан и нижний срезающий/изолирующий клапан. При наличии требования заказчика верхний изолирующий клапан и нижний срезающий/изолирующий клапан должны обеспечивать срезание гибкой трубы и каната.

Конструкция подводной испытательной арматуры должна включать не менее двух предохранительных клапанов, переходящих в закрытое состояние при возникновении отказа. Если оба клапана относятся к срезающе-герметизирующему типу, нижний клапан следует рассматривать как основной. При наличии требований заказчика срезающий/изолирующий клапан (клапаны) должен быть в состоянии срезать гибкую трубу, кабель с оплеткой и гладкую проволоку.

Клапаны должны быть рассчитаны на давление флюида со стороны скважины без учета компенсирующего давления в линии системы управления. Один из клапанов должен выдерживать давление со стороны судна для обеспечения возможности проведения испытания под давлением райзерной системы З/РС. Для выполнения этого требования в качестве компенсирующего давления можно использовать давление гидравлической жидкости в линии системы управления.

Должна быть обеспечена возможность глушения скважины через подводную испытательную арматуру при закрытых клапанах в случае отказа гидравлической системы. Клапаны должны автоматически возвращаться в исходное положение при выравнивании давления.

Если в конструкцию подводной испытательной арматуры включено устройство захвата гибкой трубы, оно должно быть встроено в нижний клапан, при этом верхний клапан должен выполнять функцию срезающего клапана. Устройство захвата должно обеспечивать двустороннюю герметизацию и быть в состоянии удерживать общий вес гибких труб, подвешенных ниже подводной испытательной арматуры. Расстояние между верхним и нижним клапанами должно быть достаточным для выполнения ловильных работ с захваченными гибкими трубами. Отрезанные гибкие трубы должны быть отцентрированы для последующего захвата ловильным инструментом. Срезающий клапан должен быть разработан таким образом, чтобы проходное сечение срезанной гибкой трубы было достаточным для обеспечения циркуляции через гибкие трубы.

В подводную испытательную арматуру следует включить гладкое (защитное) соединение, которое позволяет закрыть трубные плашки ППВО между трубной головкой и подводной испытательной арматурой. Конструкция гладкого соединения должна иметь упор на нижнем конце. Упор, взаимодействуя с закрытыми трубными плашками, должен предотвращать непреднамеренное отсоединение подводной испытательной арматуры в случае непредвиденной разблокировки инструмента для спуска трубной головки. Гладкое соединение должно быть оборудовано гидравлическим портом для обеспечения контроля необходимых функций инструмента для спуска трубной головки и самой трубной головки.

Точка расстыковки должна располагаться выше изолирующего клапана и ниже глухих срезающих плашек ППВО, чтобы ППВО могло перекрыть устье скважины.

Для закрытия плашек ППВО должно быть обеспечено достаточное пространство с учетом допусков на сборку в блоке ППВО и колонне для спуска.

Расстояние между отсоединяемым соединительным узлом в верхней части подводной испытательной арматуры (фиксатором) и нижней частью глухой срезающей плашки должно быть достаточным, чтобы обеспечить фрезерование и ловильные работы. Может быть предусмотрена внутренняя ловильная головка для спуска ловильного инструмента.

Соединительный узел подводной испытательной арматуры должен обеспечивать стыковку основного прохода (основных проходов) арматуры и линий управления. Перед фиксацией должна быть обеспечена необходимая ориентация испытательной арматуры. Должно быть обеспечено закрытие соединителя при воздействии давления, чтобы он находился в рабочем состоянии в течение всей операции. Конструкция соединителя должна быть рассчитана на возможность формирования меток на плашках ППВО.

При отстыковке райзера должен происходить сброс остаточного давления из гидравлических муфт соединительного узла. Попадание флюида из внешней среды должно быть сведено к минимуму, для исключения загрязнения гидравлических линий. Должна быть обеспечена возможность опрессовки испытательной арматуры с поверхности для проверки герметичности уплотнения.

Должна быть предусмотрена блокировка разъединяющегося соединителя, исключающая возможность его отстыковки в случае, если не закрыт как минимум один предохранительный клапан. Блокировка может быть реализована на физическом уровне или обеспечиваться логической схемой системы управления. Должна быть предусмотрена возможность обхода блокировки при необходимости.

Конфигурация подводной испытательной арматуры не должна препятствовать возможности перекрытия устья скважины ППВО в процессе выполнения любых операций.

В подводной испытательной арматуре должны быть реализованы независимые основная и дополнительная функции срезания и отсоединения. Должны быть предусмотрены предохранительные блокировки для исключения непреднамеренного срабатывания основной и дополнительной функций срезания и отсоединения.

Конструкция подводной испытательной арматуры должна предусматривать возможность реализации процедур реагирования на нештатные ситуации, которые будут обеспечивать срабатывание клапанов и соединителей с заданной последовательностью операций, необходимой для оставления скважины в безопасном состоянии. Указанные процедуры могут быть использованы в случае отказа основной системы управления.

Подводная испытательная арматура должна включать линию/порт для подачи химических реагентов с двойным герметичным обратным клапаном, расположенным между двумя клапанами.

Подводная испытательная арматура должна включать элементы, ограничивающие возможность ее поворота, для обеспечения передачи крутящего момента в процессе ориентации трубной головки и предотвращения воздействия крутящего момента на гидравлические соединители.

5.4.5 Срезной переводник

В состав колонны для спуска может быть включен срезной переводник для обеспечения возможности перекрытия скважины при закрытии срезающих плашек ППВО.

Срезной переводник должен быть расположен на уровне срезающих плашек ППВО выше предохранительных клапанов подводной испытательной арматуры.

Конструкция срезного переводника должна обеспечивать его перерезание срезающими плашками ППВО без повреждения других компонентов колонны для спуска.

Гидравлические линии в срезном переводнике должны быть зафиксированы таким образом, чтобы было обеспечено их срезание плашками превентора и исключались осложнения при захвате ловильным инструментом в процессе последующих работ.

Срезной переводник может быть наиболее слабым компонентом колонны райзера.

Заказчик должен провести испытания для подтверждения срезания переводника плашками превентора. Образец для испытаний срезающих плашек должен включать внешние гидравлические линии и расположенные внутри гладкую проволоку, кабель с оплеткой и гибкие трубы (одну или несколько) в соответствии с требованиями заказчика.

Проходное отверстие срезанного переводника должно иметь площадь, достаточную для обеспечения глушения скважины.

5.4.6 Стопорный клапан

5.4.6.1 Общие положения

Стопорный клапан можно использовать в режиме работы с трубной головкой и в режиме работы с ПФА.

Стопорный клапан должен иметь дистанционное управление, при отказе оставаться в исходном положении или переходить в закрытое состояние. Требование к положению стопорного клапана при отказе должно быть определено при проведении анализа FMECA и/или при выполнении HAZOP.

5.4.6.2 Режим работы с трубной головкой

Стопорный клапан должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечивалось перекрытие канала(ов) райзера З/РС относительно среды в буровом райзере перед отсоединением.

Стопорный клапан должен выдерживать полное расчетное давление сверху.

Стопорный клапан должен быть расположен максимально близко к разъединяющемуся соединителю подводной испытательной арматуры.

При наличии возможности закрытия кольцевого ППВО на корпусе стопорного клапана, его конструкция должна быть рассчитана на выдерживание совокупной нагрузки от закрытого кольцевого превентора и внешнего давления.

Стопорный клапан должен включать элементы, обеспечивающие выравнивание давления между проходом (проходами) райзера З/РС и каналом бурового райзера перед отсоединением.

Между стопорным клапаном и подводной испытательной арматурой должна быть предусмотрена блокировка, исключающая отсоединение райзерной колонны З/РС до тех пор, пока стопорный клапан не достигнет полностью закрытого положения, для предотвращения утечки газа под давлением в буровой райзер.

Блокировка может быть реализована на физическом уровне или обеспечиваться логической схемой системы управления. Должна быть предусмотрена возможность обхода блокировки при необходимости.

Стопорный клапан может включать устройства, обеспечивающие циркуляцию в райзере З/РС.

5.4.6.3 Режим работы с ПФА

Конструкция стопорного клапана должна обеспечивать изоляцию каналов райзера З/РС от внешней среды перед отсоединением.

Стопорный клапан должен обеспечивать герметичность при действии проектного давления со стороны судна.

Между стопорным клапаном и нижним блоком З/РС райзера должна быть предусмотрена блокировка, исключающая возможность отсоединения райзерной колонны до полного закрытия стопорного клапана.

Должна быть предусмотрена возможность обхода блокировки в любой момент (например, при реализации автоматической последовательности быстрого аварийного отсоединения).

Стопорный клапан может включать устройства, обеспечивающие циркуляцию в райзере З/РС.

5.4.7 Клапан лубрикатор

Клапан лубрикатор можно использовать в режиме работы с трубной головкой и в режиме работы с ПФА.

Конструкция клапана лубрикатора должна обеспечивать изоляцию скважины от внешней среды при спуске в нее длинной сборки инструмента на гибких трубах или канате.

Конструкция клапана лубрикатора должна обеспечивать изоляцию скважины и должна выдерживать внутрискважинное давление без учета его компенсации за счет давления в системе управления.

Клапан лубрикатор должен удерживать давление сверху для обеспечения проведения испытаний лубрикаторной секции райзера З/РС. Для выполнения данного требования может быть использовано давление в линии системы управления.

В случае отказа гидравлической системы клапан лубрикатор должен позволить осуществить глушение скважины. Это требование может быть выполнено посредством разблокировки клапана через байпасную линию или использования клапана лубрикатора, конструкция которого позволяет осуществлять закачку через закрытый клапан.

Блок клапана лубрикатора должен быть расположен ниже ПИФА.

При размещении клапана лубрикатора в буровом райзере, он должен располагаться за пределами хода телескопической (компенсационной) секции бурового райзера.

Клапан должен быть дистанционноуправляемым и оставаться в текущем положении при отказе системы управления.

Может быть предусмотрен порт для линии ввода химических реагентов с обратным клапаном.

5.4.8 Система ориентации трубной головки

Система ориентации трубной головки может быть активной или пассивной. В пассивной системе ориентация трубной головки выполняется в процессе ее начального спуска в колонную головку/ПФА. В активной системе для ориентации трубной головки необходимо выполнение дополнительных операций.

Конструкция системы ориентации трубной головки должна обеспечивать:

- передачу крутящего момента через райзерную колонну;
- компенсацию начального смещения в результате наложения допусков в конструкции;
- индикацию выравнивания трубной головки;
- изменения конфигурации с учетом блока ППВО (если указано заказчиком).

Система ориентации должна позволять выполнять ориентацию колонны для спуска до установки трубной головки.

Примечание — Ориентация трубной головки может не требоваться для концентрических конструкций ПФА.

5.4.9 Нижний узел-превентор райзера для ремонта скважины

Нижний узел-превентор райзера для ремонта скважины должен включать оборудование, необходимое для безопасного проведения внутрискважинных работ с использованием инструментов, спускаемых на гибких трубах и канате. Оборудование, используемое в нижнем узле-превенторе райзера для ремонтных работ, должно обеспечивать возможность перевода скважины в безопасное состояние и отсоединения райзерной системы от ПФА в любой момент.

Нижний узел-превентор райзера для ремонтных работ в скважине может включать блок аварийной расстыковки, ППВО для К/ГТ и инструмент для спуска ПФА [см. рисунок 9 b) и c)].

Инструмент для спуска ПФА должен обеспечивать интерфейс с катушкой повторного ввода ПФА. Инструмент может входить в конструкцию ППВО для К/ГТ или быть отдельным элементом. Для отдельных конструкций инструментов для спуска ПФА, описание стандартного сопряжения с ППВО К/ГТ приведено в приложении А для ПФА вертикального типа. Инструмент для спуска ПФА должен соответствовать требованиям ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 (пункт 7.15).

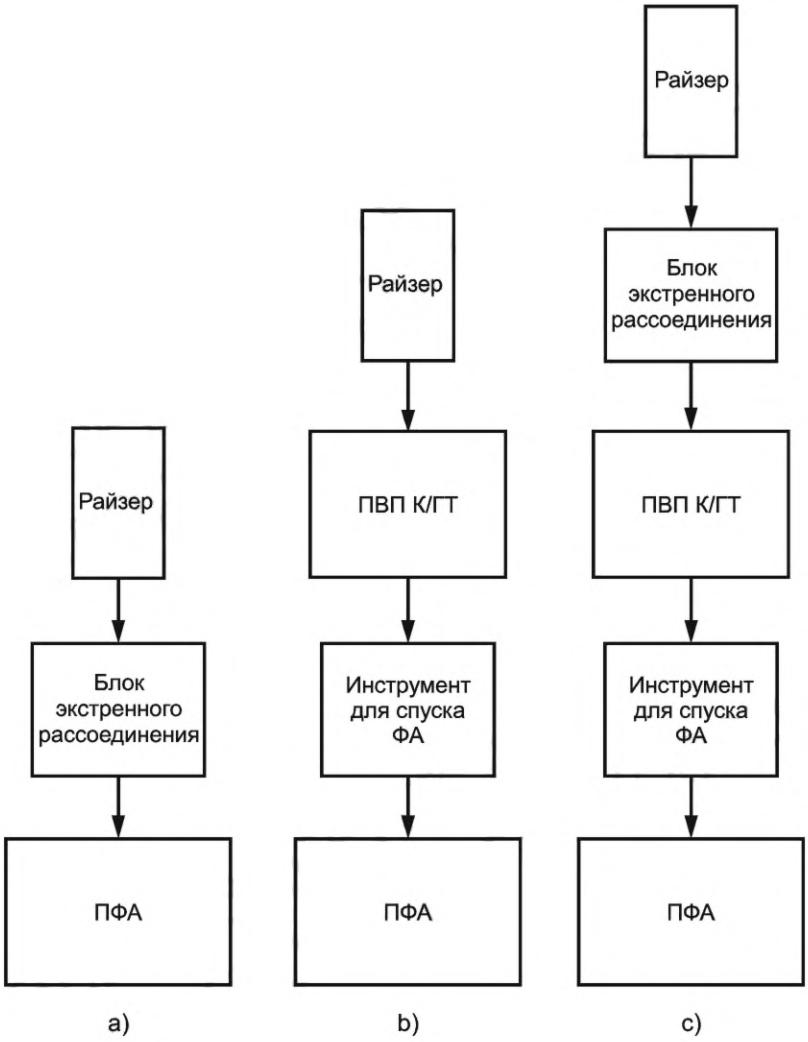


Рисунок 9 — Схемы сопряжений нижнего узла-превентора райзера для внутрискважинных работ

ППВО К/ГТ может быть оборудовано верхней катушкой повторного ввода для сопряжения с блоком аварийной расстыковки или с нижним концом райзера.

В оба сопряжения следует включать соединения для управляющих линий для взаимодействия с ППВО К/ГТ и ПФА, если необходимо.

Другими сопряжениями могут быть направляющие конструкции для повторного ввода и/или интерфейсы для управления с помощью инструмента, используемого водолазом или установленного в манипуляторе ТНПА, в соответствии с требованием заказчика.

Если не согласовано иное, в конструкцию ППВО К/ГТ для ПФА вертикального типа следует включить катушку повторного ввода с профилем соединителя, аналогичным соединителю подводной арматуры, таким образом, чтобы ПФА можно было установить с использованием блока аварийной расстыковки без ППВО К/ГТ.

В нижний узел-превентор райзера для внутрискважинных работ следует включать перепускной контур между трубными каналами райзера, чтобы обеспечить циркуляцию до подводного отсоединения. Перепускной контур должен включать отсекающую арматуру.

Для нижнего узла-превентора райзера для ремонта скважины следует предусмотреть возможность испытания райзера под давлением ниже точки отсоединения и выше клапанов ППВО К/ГТ.

Размер проходных каналов в нижнем узле-превенторе райзера должен быть равен размеру проходных каналов ПФА или превосходить его. Должны быть предусмотрены необходимые переходы в сопряженных компонентах райзера, чтобы компенсировать различия размеров проходных каналов ПФА, для обеспечения прохождения шаблона.

Нижний узел-превентор райзера для ремонтных работ в скважине должен включать систему направляющих для установки и демонтажа райзера с использованием или без использования направляющих канатов, в зависимости от условий применения.

Следует учитывать требования к свободному пространству для совместного размещения и перемещения нижнего узла-превентора и ПФА на нижней палубе буровой установки.

Высота собранного оборудования будет оказывать влияние на конструкцию райзера в отношении момента, действующего на ПФА и на интерфейс нижнего узла-превентора райзера. Допустимая высота сборки должна быть согласована в каждом отдельном случае.

5.4.10 Блок экстренного отсоединения

Блок экстренного отсоединения должен обеспечивать быстрое отсоединение райзера в случае смещения судна или внезапного изменения условий окружающей среды.

Блок экстренного отсоединения может располагаться непосредственно над ППВО К/ГТ [см. рисунок 9 с)] или точка аварийной расстыковки может располагаться в интерфейсе катушки повторного ввода ПФА [см. рисунок 9 а)]. Выбор конфигурации будет зависеть от типа ПФА и требований к системе (см. раздел 4). Например, для ПФА вертикального типа [см. рисунок 9 а)] инструмент для спуска ПФА можно использовать в качестве блока экстренного отсоединения, а клапаны ПФА можно использовать для закрытия скважины.

В состав блока экстренного отсоединения должен входить нижний соединитель с дистанционным управлением, пригодный для соединения с катушкой повторного ввода ППВО К/ГТ (или с катушкой ПФА, в качестве опции).

На верхней части блока экстренного отсоединения должен располагаться интерфейс для соединения с нижним концом райзера. Могут быть использованы фланец, бугельное соединение или специальный интерфейс, как в конструкции райзера.

На нижней части блока экстренного отсоединения должны располагаться разъемы для управляющих линий, обеспечивающие сопряжение с ППВО К/ГТ (или с ПФА, в качестве опции).

Должна быть предусмотрена направляющая конструкция для повторного ввода, как с направляющими канатами, так и без направляющих канатов, для повторного соединения с катушкой подключения на ППВО К/ГТ.

Нижний соединитель должен обеспечивать расстыковку под большим углом (приложенным моментом).

Значение угла, при котором происходит отсоединение блока аварийной расстыковки, должно быть определено исходя из требований к допустимым условиям эксплуатации райзерной системы З/РС. Минимальный угол расстыковки не должен превышать 10°. Подтверждение значения минимального угла расстыковки необходимо осуществлять в процессе анализа системы, как определено в 4.6.

В процессе испытаний райзерной системы необходимо подтвердить корректность принятого значения угла отсоединения.

5.4.11 Подводные превенторы для кабеля/гибких труб и срезающие клапаны

Сопряжение на нижней части ППВО К/ГТ или блока со срезающими клапанами должно быть совместимо с инструментом для спуска ПФА. Сопряжение на верхней части должно быть совместимо с блоком аварийной расстыковки или соединением на нижнем конце райзера.

Конструкция интерфейса должна обеспечивать совместимость с ПФА в отношении размера и расположения отверстий.

В зависимости от конструкции запорного устройства и требований заказчика число плашек ППВО или срезающих клапанов, используемых в ППВО К/ГТ, может быть различным. ППВО К/ГТ должен включать как минимум следующие клапаны:

- верхний двусторонний перекрывающий клапан в каждом проходном канале;
- срезающий клапан или плашка в каждом проходном канале, через который может спускаться оборудование на гибкой трубе или канате, и которое не может быть поднято из проходного канала в случае аварийного закрытия скважины.

Корпус ППВО К/ГТ должен быть рассчитан на работу при комбинированном воздействии натяжения и изгиба и должен выдерживать внутреннее и внешнее давление.

ППВО К/ГТ может быть как одинарным, так и двойным. Поскольку в сдвоенном превенторе после срабатывания могут оставаться фрагменты гибкой трубы или каната, его конструкция должна предусматривать место для размещения этих фрагментов.

Если конструкция ППВО К/ГТ включает универсальный превентор с уплотнением для захвата/удерживания гибких труб, уплотнение должно быть расположено ниже срезающих плашек. Уплотнение

должно обеспечивать двустороннюю герметичность и удерживать в подвешенном состоянии полный вес гибких труб ниже ППВО К/ГТ. Расстояние между срезающими плашками и уплотнением должно быть достаточным, чтобы обеспечить проведение ловильных работ при нахождении в превенторе подвешенных гибких труб. Срезанная гибкая труба должна быть отцентрирована после срезания, чтобы обеспечить зацепление ловильным инструментом. Может быть предусмотрена возможность циркуляции через срезанные гибкие трубы. Чтобы обеспечить циркуляцию, срезающие плашки должны быть рассчитаны таким образом, чтобы отверстие срезанной трубы имело достаточную площадь сечения для обеспечения потока.

Должна быть предусмотрена возможность циркуляции в райзере З/РС и возможность циркуляции/закачки в эксплуатационную колонну через межколонное пространство.

Должна быть обеспечена возможность закрытия клапанов/плашек в условиях максимального расхода и давления потока.

Клапаны должны обеспечивать возможность закрытия при перепаде давления, равном максимальному рабочему давлению.

ППВО К/ГТ должен включать линию подачи метанола с двойной герметизирующей/обратной арматурой с точкой подачи, расположенной между верхним изолирующим клапаном и нижним срезающим клапаном или плашками.

В эксплуатационной линии между верхним изолирующим клапаном и нижним срезающим клапаном или плашками может быть установлен датчик давления.

При проектировании системы должно быть учтено влияние одностороннего или двустороннего уплотнения в полости каналов.

Система должна предусматривать возможность замены герметизирующих элементов на борту судна.

Комплекты плашек с приводами должны быть спроектированы таким образом, чтобы была обеспечена возможность их замены на борту судна без нарушения гидравлических контуров.

Все приводы клапанов/плашек должны иметь индикаторы положения для контроля с помощью ТНПА или водолазов.

Плашки с двусторонними гидравлическими приводами должны быть оборудованы автоматической и механической системой блокировки для исключения непреднамеренного открытия.

Все приводы клапанов/плашек должны иметь возможность ручного перевода из закрытого в открытое положение.

В дополнение к определенным в разделе 10 требованиям к испытаниям и документации ППВО К/ГТ или блоку срезающих клапанов, необходимо выполнять следующие требования:

a) испытания плашек необходимо проводить в соответствии *ГОСТ Р ИСО 13533—2013* (пункт 5.5);

b) гидравлическое контрольное испытание ППВО К/ГТ необходимо проводить в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 13533—2013* (подпункт 8.5.8.6);

c) квалификация срезающих клапанов должна быть проведена в соответствии с требованиями к испытаниям клапанов, установленными в *ГОСТ Р 51365* с обязательным испытанием функции срезания и обеспечения герметичности в соответствии со спецификацией поставщика;

d) размер образца для испытания на срезание должен соответствовать требованиям заказчика.

5.4.12 Соединители

5.4.12.1 Общие положения

Соединитель должен обеспечивать многократное выполнение операций соединения/разъединения в заданных условиях применения в течение расчетного срока эксплуатации.

Внутренний проход соединителя должен быть гладким и обеспечивать прохождение инструмента.

Удерживаемый в соединителе флюид не должен влиять на процессы установки или эксплуатации соединителя.

Конструкции с несколькими проходами должны включать герметизирующие втулки или уплотнительные прокладки для герметизации каждого прохода.

Соединитель должен быть укомплектован уплотнениями, которые обеспечивают герметичность соединителя по отношению к внутреннему и внешнему давлению в процессе спуска, установки и эксплуатации (см. приложение Н).

Если уплотнения нескольких проходов являются частью уплотнения относительно внешней среды или дополнительного уплотнения, в непосредственной близости к проходам должна быть предусмотрена двусторонняя герметизация для предотвращения перетоков между отдельными проходами.

Если используют герметичное уплотнение относительно внешней среды, то следует учитывать возможность нарушения герметичности между линиями системы управления, эксплуатационной колонной и затрубным пространством.

Эффект воздействия концевых нагрузок давления на зону, ограниченную уплотнением относительно внешней среды, следует учитывать при проектировании, поскольку в одном или нескольких внутренних уплотнениях могут образоваться утечки.

Нагрузки от давления при отсоединении должны быть рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия в уплотнении (т. е. следует принимать во внимание утечку по наибольшему диаметру дополнительного уплотнения, если не предусмотрена система сброса давления).

Все уплотнения должны быть квалифицированы на проектные нагрузки от свинчивания/развинчивания, воздействие давления, температуры, внешние нагрузки, воздействие флюидов и нагрузки при обслуживании.

Конструкция соединителя должна обеспечивать удобство обслуживания компонентов. Обследование и очистка должны быть легко выполнимы как снаружи, так и изнутри. Узлы, в которых могут захватываться и оставаться морская вода или скважинные флюиды, должны легко разбираться.

Уплотнения и прокладки должны быть доступны для контроля и легко заменяться на судне. Возможность повторного использования уплотнений, уплотнительных колец/прокладок должна быть определена поставщиком райзера.

Соединитель и/или соответствующий инструмент для спуска должны обеспечивать позиционирование и выравнивание соединяемых компонентов таким образом, чтобы исключалось повреждение уплотнительных поверхностей или конструкций соединительных устройств.

Внешний профиль не должен ограничивать проход оборудования или специальных инструментов.

Все вертикальные проходы, включая уплотнения и прокладки, должны иметь возможность контроля шаблоном (см. 5.3).

5.4.12.2 Соединители модуля экстренного отсоединения

Соединители должны обеспечивать быстрое и надежное соединение и отсоединение в соответствии с проектными решениями и соответствовать критериям прочности, герметичности и устойчивости к усталостному разрушению.

Соединители должны быть спроектированы и предварительно нагружены таким образом, чтобы были минимизированы относительные перемещения деталей и уплотнительных поверхностей в результате внешних циклических нагрузок. В нормальных условиях эксплуатации стыкуемые поверхности соединителя должны находиться под предварительным нагружением. При воздействии особых нагрузок торцы соединителя могут расходиться, при условии, что уплотнения в соединителе остаются герметичными.

Соединитель должен быть гидравлическим, дистанционно управляемым. Как правило, усилие размыкания соединителя должно превышать усилие закрытия на 25 %.

Соединитель должен быть рассчитан таким образом, чтобы не допустить отсоединения при потере запирающего давления в гидравлической линии. Указанное требование может быть обеспечено механизмом самоблокировки соединителя или резервированием с использованием механического или иного стопорного устройства. Конструкция стопорного устройства должна предусматривать возможность освобождение в случае его отказа.

В соединителе должен быть предусмотрен резервный способ отсоединения, который может быть гидравлическим или механическим. Должна быть обеспечена возможность срезания гидравлической обвязки линии размыкания/замыкания с использованием ТНПА/водолаза или предусмотрены средства для сброса давления, если это необходимо для срабатывания резервного способа отсоединения.

В соединителях модуля экстренного отсоединения в качестве первичного уплотнения необходимо использовать уплотнения металл-к-металлу.

Соединитель должен иметь внешний индикатор состояния, доступный для контроля с помощью ТНПА или водолаза.

В соединителе следует предусмотреть возможность проведения испытаний уплотнения низким обратным давлением, чтобы проверить правильность сборки соединитель-уплотнение.

Допуски и зазоры должны быть установлены таким образом, чтобы все соединители одного размера и конфигурации были взаимозаменяемыми.

Конструкция соединителя должна исключать влияние находящихся в нем флюидов/воды на его функционирование.

5.4.12.3 Соединитель секций райзера З/РС

Соединитель должен быть прочным и надежным, обеспечивать быстрое и надежное соединение, отсоединение, спуск и подъем секций райзера.

Конструкция соединителя секций райзера должна обеспечивать возможность соединять и спускать секции райзера в любой последовательности.

Уровень безопасности соединителя по отношению к разрушению в результате пластической деформации, возникновению утечки и усталостному разрушению должен быть сопоставимым с уровнем безопасности соединенной с ним трубы.

Конструкция соединителя не должна допускать ослабления вследствие динамических воздействий в процессе эксплуатации.

Соединитель может также служить опорой для передачи веса подвешенной колонны райзера на спайдер райзера во время операций установки или извлечения райзера.

Конструкция соединителей райзера должна включать средства контроля угла поворота для обеспечения контроля ориентации трубной головки перед посадкой или ориентации фиксатора подводной испытательной арматуры перед повторным вводом.

Максимальный крутящий момент соединителя должен быть достаточным, чтобы обеспечить (если применимо):

- усилие свинчивания и развинчивания соединителя;
- момент при ориентации трубной головки;
- момент при ориентации соединителя подводной испытательной арматуры в процессе повторного ввода;
- момент при срезании любого механического вторичного освобождающего механизма.

Также следует учитывать увеличение моментов, свинчивания и развинчивания, поворота т. д., возникающее вследствие перемещения судна.

В случаях, когда соединитель обеспечивает опору для вспомогательных линий или модуля плавучести, при проектировании соединителя должны быть учтены связанные с этим нагрузки.

Диаметр внутреннего канала соединителя должен соответствовать внутреннему диаметру присоединяемой трубы (переход должен быть гладкий, не создающий препятствий).

Уплотняемые поверхности соединений райзера должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать повреждения в процессе работы с секциями райзера.

Уплотняемые поверхности должны иметь коррозионно-стойкую наплавку или коррозионно-стойкое покрытие. Коррозионно-стойкое покрытие должно соответствовать конкретным условиям эксплуатации.

В качестве основных уплотнений в соединителях райзера можно использовать уплотнения из упругих материалов, эластомеров или уплотнения «металл к металлу». Если уплотнения «металл к металлу» не используют, то должно быть обеспечено резервирование уплотнения (основное уплотнение плюс резервное).

Нагрузки от давления при отсоединении должны быть рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия в уплотнении (т. е. следует принимать во внимание утечку по наибольшему диаметру дополнительного уплотнения).

Соединение может включать средства для испытаний соединения под давлением после сборки без воздействия давления на сам райзер З/РС. Это может быть достигнуто путем испытания уплотнения обратным давлением, т. е. испытание под низким давлением для проверки правильности установки уплотнения.

Допуски размеров и зазоры должны быть определены таким образом, чтобы все соединители одного размера и конфигурации были взаимозаменяемыми. Для обеспечения взаимозаменяемости в процессе изготовления можно проводить выбраковочный контроль проходными калибрами взамен регулярных испытаний на взаимозаменяемость.

5.4.13 Усиленная секция

Усиленная секция должна обеспечивать в райзерной системе переходную зону с промежуточным значением жесткости между ПФА и райзером. Данная секция должна воспринимать локальные напряжения, повышая таким образом усталостную долговечность и расширяя диапазон рабочих условий системы райзера.

Верхний конец усиленной секции должен включать стандартный соединитель, обеспечивающий ее подключение к самой нижней секции райзера.

Нижний конец усиленной секции должен обеспечивать соединение с модулем экстренного отсоединения или инструментом для спуска ПФА. Для соединения могут быть использованы фланец, бугельное соединение или специальный соединитель райзера.

Длина усиленной секции и распределение жесткости должны быть обоснованы в процессе проектирования конструкции райзера и должны учитывать конструкцию ПФА и устьевого оборудования, чтобы исключить возникновение избыточных нагрузок на отдельные компоненты.

Диаметр усиленной секции (включая соединители) должен обеспечивать ее прохождение через роторный стол.

Особое внимание должно быть уделено обеспечению процесса монтажа усиленной секции к нижнему блоку райзера для внутрискважинных работ, выполняемого в буровой шахте судна.

5.4.14 Секции райзера

Стандартные секции райзера должны иметь минимальную длину 13,7 м. Все стандартные секции одного райзера должны иметь одинаковую длину. Для обеспечения необходимой длины колонны райзера должны быть предусмотрены укороченные секции, имеющие такие же соединители, как и стандартные секции райзера.

В собранном состоянии секции райзера должны создавать непрерывные каналы для эксплуатационной колонны и заколонного пространства между ПФА или трубной головкой и оборудованием на судне. Основной функцией секции райзера является транспорт скважинных флюидов в процессе заканчивания скважины или проведения внутрискважинных работ с обеспечением вертикального доступа к эксплуатационной колонне и межколонному пространству для выполнения операций с использованием канатной техники или гибких труб.

Соединители райзера должны быть идентичными, чтобы обеспечить возможность соединения любого числа специальных секций, таких как переводники ППВО, усиленная секция, натяжная секция, гладкое соединение и переходник ПИФА.

Для подачи к ПФА и трубной головке гидравлической и электрической энергии и сигналов системы управления может быть использован шлангокабель системы управления. На секциях райзера с заданным шагом должны быть установлены хомуты для крепления одного или нескольких шлангокабелей.

Секции райзера не должны иметь незакрепленных деталей или деталей, которые могут отсоединиться в процессе спуска и подъема райзера.

Конструкция секции райзера, соединителей и всех составных частей должна исключать их повреждение в процессе спуска и подъема райзера.

Должно быть предусмотрено размещение секций райзера на стеллаже в виде свечей из двух или более секций.

5.4.15 Натяжная секция

Натяжная секция должна включать переходное кольцо, предназначенное для сопряжения с натяжным устройством бурового райзера.

На судах, не имеющих системы натяжения водоотделяющей колонны (бурового райзера), натяжная секция должна быть снабжена проушинами или аналогичными элементами, обеспечивающими закрепление натяжных тросов системы натяжения судна. Должно быть предусмотрено достаточное число проушин для выравнивания системы натяжения и минимизации крутящего момента в системе райзера. Возможно применение вертлюжного кольца для поворота проушин на натяжной секции, чтобы упростить ее выравнивание с системой натяжения судна.

Для судов, якорная система которых включает турель, или судов, оборудованных системой динамического позиционирования, используемые в вертлюжном кольце подшипники должны иметь низкий коэффициент трения. Момент скручивания и крутящий момент вертлюжного кольца в рабочих условиях должен быть достаточно низким, чтобы исключить нежелательное смещение натяжных устройств и передачу крутящего момента на райзер.

При необходимости натяжная секция должна формировать непрерывные каналы для эксплуатационной колонны и заколонного пространства. Верхний конец натяжной секции должен быть соединен с гладким соединением или коротким патрубком. Нижняя часть натяжной секции должна быть соединена со стандартной секцией райзера.

Конструкция натяжной секции, включая переходное кольцо, проушины и вертлюжное кольцо, должна:

- обеспечивать удержание полного веса райзера З/РС, включая нижний блок райзера для внутрискважинных работ и ПФА, с учетом влияния избыточного натяжения и динамических воздействий;

- компенсировать асимметричное натяжение, вызванное отказом как минимум одного натяжного устройства;

- компенсировать неравномерность нагрузки вследствие несоосности натяжных тросов судна;

- если применимо, компенсировать статические и динамические воздействия от кольца устройства натяжения бурового райзера с учетом воздействия нагрузки в результате периодического или постоянного нахождения кольца натяжного устройства в зоне заплеска;

- если применимо, компенсировать воздействие крутящего момента из-за сопротивления повороту вертлюжного кольца или натяжного кольца судна.

5.4.16 Гладкое (защитное) соединение

Гладкое (защитное) соединение представляет собой защитную втулку, которая проходит через роторный стол. Если не определено иначе, втулка должна быть съемной, чтобы обеспечивать контроль и обслуживание расположенных внутри нее труб. Длина втулки должна быть достаточной, чтобы пройти через роторный стол, дивертер и гибкое (шаровое) соединение, включая запас длины, учитывающий вертикальные перемещения судна относительно колонны райзера.

Внешний профиль защитной втулки должен быть гладким, чтобы исключить зацепление при отклонениях вследствие качки судна в процессе перемещения внутри роторного стола. Защитная втулка должна обладать пониженной жесткостью при изгибе, чтобы уменьшить изгибающие моменты, передаваемые на подсоединенные секции райзера. Могут быть применены сплошные втулки или втулки, состоящие из нескольких сегментов.

Если не указано иначе, гладкое (защитное) соединение должно быть оборудовано стандартными соединителями райзера. Верхний конец защитной втулки соединяется с переходником ПИФА. Нижний конец защитной втулки может быть соединен с натяжной секцией или с промежуточной секцией (коротким патрубком).

Управляющий шлангокабель может быть расположен параллельно гладкому соединению. В этом случае он должен либо проходить внутри защитной втулки, либо соответствующим образом быть закреплен снаружи в специальном углублении на втулке, чтобы не допустить повреждение шлангокабеля при его прохождении через роторный стол, дивертер и гибкое соединение.

Особое значение должно быть уделено вопросам обеспечения погрузки и монтажа гладкого соединения в полевых условиях.

5.4.17 Переходник палубной испытательной фонтанной арматуры

Верхняя часть переходника ПИФА соединяется с нижним соединением ПИФА. Соединение может быть фланцевым, резьбовым или другим соединением, определяемым конструкцией ПИФА. Нижняя часть переходника ПИФА соединяется с гладким соединением с использованием стандартного соединения райзера. В качестве альтернативы, переходник ПИФА может входить в конструкцию гладкого соединения.

Длина переходника ПИФА должна быть минимально возможной.

5.4.18 Палубная испытательная фонтанная арматура

ПИФА обеспечивает возможность перекрытия скважинного потока и глушения скважины.

ПИФА должна иметь вертикальную конструкцию со сквозными проходными каналами. Число проходных каналов должно соответствовать конструкции райзера З/РС и условиям его применения.

Вертикальный канал должен обеспечивать беспрепятственное прохождение инструментов, спускаемых на канате/гибких трубах.

Конфигурация запорной арматуры ПИФА должна включать как минимум по одной задвижке на каждом вертикальном канале и по одной задвижке на отводящей линии каждого канала, если иное не определено заказчиком. Все задвижки должны быть дистанционно управляемыми. Задвижки на отводящих линиях должны переходить в закрытое состояние при возникновении отказа и должны обеспечивать двустороннюю герметизацию. Главные и/или верхние задвижки ПИФА должны обеспечивать двустороннюю герметизацию и не менять положения при возникновении отказа.

Время закрытия задвижки на отводящей линии должно соответствовать требованиям к процессу технологического останова.

Конструкция ПИФА должна соответствовать требованиям *ГОСТ Р 51365* или эквивалентного стандарта.

ПИФА необходимо проверять шаблоном в соответствии с требованиями *ГОСТ Р 51365* или эквивалентного стандарта.

Боковые отвод и отводы линии глушения следует направлять вниз под углом 90°. Должна быть обеспечена возможность подключения к отводам гибких труб или вертлюжных соединений. При проек-

тировании отводов должны быть учтены изгибающие, растягивающие и сдвигающие нагрузки, создаваемые гибкими трубами, в сочетании с воздействием внутреннего давления.

В ПИФА должен быть обеспечен контроль давления в вертикальном(ых) канале(ах).

ПИФА должна быть в состоянии удерживать всю колонну райзера З/РС, включая систему трубной головки или ПФА, включая избыточное натяжение в процессе подтверждения корректной посадки и фиксации подводного оборудования.

Верхняя часть ПИФА должна обеспечивать установку переходника для К/ГТ. Переходник для К/ГТ может быть независимым или являться частью конструкции ПИФА.

При проектировании ПИФА должны быть учтены изгибающие нагрузки, создаваемые переходником для К/ГТ.

Верхнее натяжение райзера обеспечивают с использованием одного из следующих элементов:

- натяжное кольцо, встроенное в ПИФА;
- натяжная рама ПИФА, закрепленная на ПИФА или переходнике для К/ГТ;
- элеватор обсадных труб, закрепленный на переходнике для К/ГТ;
- проушины, смонтированные на блоке ПИФА.

Если натяжное кольцо встроено в конструкцию ПИФА, то необходимо учитывать число точек подключения линий натяжения, возможность вращения кольца и наличие боковых нагрузок. Натяжное кольцо должно упрощать применение штропов элеватора или высокопрочных канатных стропов. Размер проушин должен соответствовать нагрузкам при натяжении.

Если предусмотрено применение натяжной рамы ПИФА, она должна быть рассчитана на все нагрузки, имеющие место в процессе эксплуатации. Натяжная рама должна ограничивать в установленных пределах нагрузки и деформации от смонтированного на ПИФА оборудования (например, ППВО К/ГТ и устьевое подающее устройство для гибких труб).

ПИФА со встроенным переходником для К/ГТ должна иметь на переходнике профиль для подключения стандартного элеватора обсадных труб. Наружный диаметр и упорный фланец в этом случае должны соответствовать стандартным соединительным муфтам обсадных труб такого же диаметра.

Размер проушин ПИФА для закрепления штропов элеватора или высокопрочных канатных стропов следует определять с учетом значений нагрузок при натяжении.

Конструкция ПИФА и ее компонентов должна обеспечивать безопасное выполнение работ по погрузке-выгрузке ПИФА на пол и с пола буровой установки. ПИФА должна быть оборудована защитной конструкцией, для предотвращения повреждений при проведении погрузочных работ. В нижней части ПИФА должно быть предусмотрено соединение с переходником ПИФА.

5.4.19 Переходник для каната/гибких труб

Для соединения ППВО К/ГТ и лубрикатора с ПИФА или непосредственно с райзером следует использовать переходник для К/ГТ.

Переходник может являться частью ПИФА или райзера или быть отдельным устройством.

Верхняя часть переходника должна иметь резьбовое соединение, фланцевый или специальный соединитель. Для операций с использованием канатной техники предпочтительным является резьбовое соединение. Для операций с использованием гибких труб предпочтительным является фланцевый или специальный соединитель. Используемое соединение должно быть рассчитано на нагрузки при соединении/рассоединении, нагрузки от воздействия давления и температуры и внешние нагрузки.

Переходник должен быть снабжен профилем для сопряжения со стандартным элеватором обсадных труб. Наружный диаметр и упорный фланец в этом случае должны соответствовать стандартным соединительным муфтам обсадных труб такого же диаметра. Переходник должен обеспечивать герметичность сопряжения с ППВО К/ГТ в условиях эксплуатации.

5.4.20 Натяжная рама палубной испытательной фонтанной арматуры

Натяжная рама должна удерживать райзер З/РС на компенсаторе качки талевого блока либо под блоком ПИФА, либо над ним.

Натяжная рама должна быть в состоянии удерживать колонну райзера, включая систему трубной головки или ПФА, с учетом избыточного натяжения для подтверждения правильной посадки и фиксации подводного оборудования. Кроме того, устойчивость натяжной рамы к осевым нагрузкам должна быть не меньше, чем у секций райзера З/РС.

Поставщик должен определить на основе общего анализа райзерной системы требуемую устойчивость к изгибу натяжной рамы. Общий анализ должен включать динамические и статические воздействия.

Требуемая проектная усталостная долговечность натяжной рамы должна быть подтверждена при проведении общего анализа системы райзера З/РС.

Высота натяжной рамы не должна препятствовать установке оборудования для работы с инструментом на канате/гибких трубах. Должна быть предусмотрена возможность выполнения погрузочно-разгрузочных работ и сборки/разборки внутрискважинного оборудования под натяжной рамой.

Рама должна включать рабочее окно для обеспечения работы устройства подачи гибких труб, эжектора и ППВО независимо от перемещений судна.

Конструкция рамы должна допускать ее вращение относительно ПИФА. Как правило, следует предусматривать поворот на 90° вокруг вертикальной оси.

Рама должна быть оборудована рабочей платформой для доступа к соответствующим рабочим зонам.

Рама должна иметь систему для направления и ограничения горизонтального смещения головки подачи гибких труб в процессе эксплуатации.

Натяжную раму следует поставлять со стационарно установленной лебедкой для монтажа оборудования при работе с инструментом на К/ГТ. Должно быть обеспечено дистанционное управление лебедкой с рабочей платформы на натяжной раме и/или с пола буровой установки. Лебедка должна обеспечивать подъем со скоростью, превышающей скорость вертикальных перемещений судна. Грузоподъемность лебедки должна как минимум на 30 % превышать максимальный поднимаемый вес (устройство подачи гибких труб, наиболее тяжелой сборки спускаемого в скважину оборудования, усилие размыкания быстроразъемного соединения головки гибких труб и т. д.).

Рама должна иметь гидравлический подъемник для работы на высоте, управляемый дистанционно с рабочей платформы на натяжной раме и/или с пола буровой установки.

В рабочих зонах должны быть предусмотрены страховочные пояса.

5.4.21 Вертлюг

В колонну райзера З/РС может быть включен вертлюг, обеспечивающий возможность сохранения положения райзера при измененииии положения судна. Основной задачей вертлюга является удержание заданной ориентации ПИФА и натяжной рамы относительно пола буровой установки. Относительное вращение, как правило, имеет место во время посадки трубной головки и из-за рысканья судна с динамическим позиционированием.

Вертлюг должен быть расположен между ПИФА и гладким соединением. Диапазон рабочего давления и температуры для вертлюга должен совпадать или превышать соответствующий диапазон ПИФА.

Для обеспечения герметичности применительно к добываемым и нагнетаемым флюидам следует использовать резервные уплотнения из упругих материалов и эластомеров (основные и дополнительные). На уплотнительные поверхности должны быть нанесены коррозионно-стойкие наплавки.

В корпусе под подшипник вертлюга должно быть предусмотрено устройство для сброса давления на случай утечки в уплотнениях.

Крутящий момент развинчивания вертлюга должен быть больше рабочего крутящего момента для обеспечения свободного вращения. При определении сопротивления свободному вращению вертлюга должна быть учтена жесткость колонны райзера на кручение и сопротивление кручению вертлюжного кольца натяжной секции, кольца системы натяжения бурового райзера, элеватора и вертлюга верхнего привода.

Вертлюг должен быть рассчитан на нагрузки, возникающие в процессе перемещения ПИФА и блока гладкого соединения от трубной палубы до пола буровой установки.

Вертлюг должен быть рассчитан на проектные нагрузки и их сочетания, указанные в разделе 6. Особое внимание должно быть уделено усталостным нагрузкам при работе в режиме с ПФА.

Процесс квалификации вертлюга должен включать расчеты и испытания (см. 6.6 и приложение J).

5.4.22 Линия циркуляции затрубного пространства

Гибкую линию (или несколько линий) системы циркуляции можно использовать для обеспечения движения флюида из затрубного пространства. Для циркуляции в райзере З/РС, циркуляции в затрубном пространстве, опрессовки затрубного пространства и глушения скважины, как правило, используют линию малого диаметра. Линия циркуляции может быть включена в конструкцию шлангокабеля управления системы внутрискважинных работ. Размер линии (линий) следует выбирать с учетом требований к процедурам глушения скважин. Номинальное давление линии не должно быть меньше, чем номинальное давление райзера З/РС.

Пробное давление и минимальное давление разрыва должны соответствовать требованиям для линий дросселирования и глушения скважин, установленным в *[1]*.

Линия циркуляции может быть гибкой трубой с многослойной структурой без связующих слоев и со связующими слоями.

Проектирование, выбор материалов, изготовление и испытания должны осуществляться в соответствии с требованиями *ГОСТ Р 59306* для гибкой трубы со связующими слоями и *ГОСТ Р 59309* для гибкой трубы без связующих слоев. Для подтверждения соответствия гибкой трубы установленным требованиям должны быть выполнены как минимум следующие испытания:

- испытание на разрыв под давлением;
- испытание на растяжение;
- испытание на раздавливание;
- испытание циклическим гидростатическим давлением;
- гидростатические испытания на смятие;
- усталостные знакопеременные испытания на изгиб;
- испытание на воздействие атмосферных условий.

5.4.23 Спайдер райзера

Спайдеры райзера должны быть установлены на роторном столе или на верхней части главного вкладыша ротора. Спайдер должен удерживать систему райзера З/РС плюс вес всего подвешенного оборудования системы трубной головки или системы ПФА во время выполнения свинчивания или развинчивания секций райзера.

Удерживание райзера З/РС должно быть обеспечено с помощью выдвижных захватов, вкладышей или клиновых плашек.

Спайдеры должны быть оборудованы соответствующими запирающими механизмами с ручным, гидравлическим или пневматическим управлением. Спайдеры с ручным управлением должны обеспечивать безопасное выполнение работ и исключать повреждение пальцев или рук зажимами или захватами. В процессе работ персонал должен находиться на полу буровой установки.

Для гидравлических или пневматических спайдеров должны быть предусмотрены устройства блокировки, удерживающие спайдер в открытом или закрытом положении, для исключения непреднамеренного срабатывания запирающего механизма.

Конструкция спайдеров, для которых необходима передача крутящего момента на роторный стол (требуется для резьбовых соединений райзера), должна предусматривать штифты, которые устанавливают в отверстия для ведущих пальцев вкладыша ведущей трубы.

Спайдеры, которые имеют поверхность трения, должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать попадание на нее грязи и бурового раствора, которые могут влиять на работу спайдера.

При необходимости конструкция спайдера должна предусматривать размещение шлангокабелей/управляющих линий.

Спайдер должен быть рассчитан на сопряжение по размеру и типу с роторным столом и вкладышами ротора, указанными заказчиком.

Должны быть учтены сопряжения всех инструментов, используемых в процессе заканчивания скважины и выполнения внутрискважинных работ, включая инструмент для спуска трубной головки, инструменты для свинчивания труб, усиленного соединения и т. д.

Конструкция спайдера должна учитывать следующие нагрузки:

- статические нагрузки от веса трубной головки, колонны НКТ, секций райзера, ПФА, нижнего узла райзера, инструмента для спуска ПФА, усиленной секции, ПИФА и раствора для заканчивания скважины;
- динамические нагрузки вследствие перемещений судна и воздействия волн;
- статические нагрузки от воздействия течения и отклонения шарового соединения райзера;
- ударные нагрузки;
- нагрузки, обусловленные крутящим моментом при свинчивании и развинчивании соединений райзера.

Номинальная нагрузка, расчетные коэффициенты, проверочные испытания и испытания на максимально допустимую грузоподъемность спайдера должны соответствовать требованиям *ГОСТ 31841*.

Эффективным средством снижения статических и циклических нагрузок в случае работы в сложных погодных условиях может быть спайдер с кардановым подвесом. При использовании жесткого спайдера в сложных погодных условиях должна быть подтверждена допустимость действующих на райзер статических и динамических нагрузок.

Карданов подвес должен быть рассчитан на вращение вокруг двух перпендикулярных горизонтальных осей с максимальным подвешенным весом.

5.4.24 Подъемные устройства и инструмент для испытаний

Если не согласовано иначе, подъемные устройства должны иметь замковые соединения в соответствии с *ГОСТ 34438.2* в верхней части и соединение, аналогичное соединению райзера, в нижней части.

Подъемные устройства могут быть рассчитаны на сопряжение с элеваторами обсадных труб, если значение действующей нагрузки ниже предела рабочих характеристик замковых соединений, определенных в *ГОСТ 34438.2.*

Подъемные устройства должны обеспечивать возможность проведения испытания райзера под давлением. Для составных райзеров с внешней оболочкой должны быть предусмотрены соединения управляющих линий, которые позволяют испытывать и активировать линии системы управления трубной головкой в процессе спуска райзера.

Длина подъемных устройств должна быть минимальной, но достаточной для выполнения свинчивания и развинчивания бурильных труб или элеватора обсадных труб и сборки любых управляющих или испытательных линий.

Подъемные устройства должны выдерживать общий вес райзера (статический и динамический), включая вес системы трубной головки и системы ПФА. При проектировании подъемных устройств необходимо учитывать следующие условия нагружения:

- горизонтальное и вертикальное перемещения секций райзера;
- вертикальные нагрузки в подвешенном положении (нагрузки от веса секций райзера, колонны для спуска, трубной головки, НКТ, ПФА, нижнего узла-превентора райзера для внутрискважинных работ, веса жидкости для заканчивания скважины, воздействия от дополнительного натяга);
- воздействие от перемещений судна, волн и течений.

Номинальная нагрузка, расчетный коэффициент, проверочные испытания и испытания на максимально допустимую грузоподъемность подъемных устройств должны соответствовать требованиям *ГОСТ 31844.*

5.4.25 Хомуты шлангокабеля

Хомуты шлангокабеля могут быть постоянно закреплены на райзере З/РС или являться дополнительными приспособлениями.

Хомуты шлангокабеля должны быть рассчитаны на следующие условия:

- эксплуатация с использованием и без использования водоотделяющей колонны;
- обеспечение достаточного усилия зажима для удержания веса наполненного шлангокабеля(ей) между хомутами. Необходимое усилие зажима должно учитывать допуск на наружный диаметр шлангокабеля, рабочий коэффициент трения наружной оболочки шлангокабеля, относительное уменьшение наружного диаметра под действием усилия зажима и внешнего гидростатического давления;
- надежное, быстрое и простое применение с минимальным износом/истиранием шлангокабеля(ей);
- обеспечение беспрепятственного спуска и извлечения через роторный стол, спайдер райзера и буровой райзер;
- обеспечение защиты шлангокабеля во время спуска, извлечения и эксплуатации внутри бурового райзера;
- обеспечение подвески райзера З/РС внутри бурового райзера во время шторма;
- исключение из конструкции деталей, которые могут упасть в буровой райзер.

Для неапробированных конструкций хомутов необходимо проводить испытания на подтверждение соответствия. Во время испытаний следует моделировать ожидаемые условия эксплуатации или более сложные условия.

5.4.26 Прочие вспомогательные компоненты

Специальные вспомогательные компоненты включают инструменты для свинчивания и развинчивания, модули плавучести, карданные шарниры и вспомогательные роторные столы.

Как правило, эти компоненты предназначаются для сопряжения с секциями райзера З/РС с учетом соответствующего типа соединителей райзера, типа райзера и глубины воды.

Конструкция инструмента для свинчивания (например, трубные, механические или гидравлические ключи) должна соответствовать условиям применения. При проектировании таких инструментов следует учитывать максимальные усилия при свинчивании и развинчивании соединений райзера. Кроме того, необходимо учитывать метод и удобство перемещения оборудования на палубе (в том числе, такелажные узлы).

Модули плавучести должны быть рассчитаны на максимальную глубину воды для условий применения райзера и должны учитывать нагрузки при перемещении судна и нагрузки от воздействия окружающей среды. Конструкция крепления к райзеру должна быть надежной и простой в эксплуатации. Размер модулей плавучести должен быть регулируемым и должен быть согласован с заказчиком. Упорные кольца секций райзера должны воспринимать нагрузки от модулей плавучести. Стягивающие и болтовые крепления должны быть коррозионно-стойкими.

Конструкция вспомогательного роторного стола должна включать отверстие, которое позволяет устанавливать вспомогательный ротор вокруг колонны (колонн) труб. В верхней части вспомогательного ротора должен быть предусмотрен раструб под клинья. Вспомогательные роторы должны быть установлены на роторный стол/вкладыш. Конструкция вспомогательного роторного стола должна быть рассчитана на сочетание нагрузок от веса системы райзера, веса НКТ и нагрузок, вызванных перемещением судна. Номинальные нагрузки, расчетный коэффициент и испытания на максимально допустимую грузоподъемность вспомогательного ротора должны соответствовать требованиям *ГОСТ 31841*.

5.5 Система управления внутрискважинными работами

5.5.1 Общие положения

Система управления внутрискважинными работами должна включать средства для дистанционного управления всеми функциями оборудования для заканчивания/ремонта скважин, включая инструмент и ПФА во время следующих операций:

- установка, извлечение и испытание трубной головки и систем нижнего заканчивания скважины;
- установка, извлечение и испытание ПФА и вспомогательного оборудования;
- операции по заканчиванию скважины и последующие внутрискважинные работы в процессе ее эксплуатации;
- технологический останов;
- аварийный останов;
- экстренное отсоединение.

Система управления внутрискважинными работами должна обеспечивать реализацию автоматических последовательностей технологического и авариного останова работ, штатное и экстренное отсоединение при активизации команды на судне, выполняющем внутрискважинные работы.

Система управления внутрискважинными работами должна обеспечивать подачу метанола в скважину.

5.5.2 Влияние отказов

Система должна быть разработана таким образом, чтобы единичный отказ не приводил к недопустимому риску для безопасности персонала, окружающей среды и экономических условий проекта.

Единичный отказ в системе не должен приводить к ее общему отключению и препятствовать переводу скважины в безопасное состояние. При проектировании должны быть предусмотрены средства раннего обнаружения отказа или должно быть использовано резервирование для критических компонентов, для которых невозможно выявить отказ на ранней стадии.

При возникновении любого отказа в системе управления или повреждении компонентов, влияющих на способность системы выполнять свои функции, система должна автоматически переходить в безопасное состояние. Данное требование применимо к нарушению электрического, гидравлического или пневматического энергоснабжения или полному отказу какой-либо из частей системы.

5.5.3 Меры безопасности

При передаче управления скважиной расположенной на судне системе управления внутрискважинными работами основная система управления добычей не должна иметь возможности влиять на функции управления данной скважиной. Система управления добычей может быть использована для управления скважиной при проведении внутрискважинных работ в случае, если функции управления добычей могут быть переданы судну, выполняющему внутрискважинные работы. Система управления внутрискважинными работами должна соответствовать требованиям безопасности и резервирования.

При проектировании, изготовлении, установке и эксплуатации системы управления внутрискважинными работами необходимо учитывать параметры используемого судна с точки зрения классификации зон и общей методологии обеспечения безопасности.

5.5.4 Меры защиты

В проекте системы управления должно быть уделено особое внимание снижению возможности совершения и последствий ошибок персонала. Данное требование относится, например, к защите си-

стем соединения (соединителей ПФА, инструмента для спуска ПФА, подводной арматуры для испытаний и инструмента для спуска трубной головки) в процессе перемещения и повторного соединения, к блокировке клапанов в открытом положении в процессе работ с применением канатной техники или гибких труб и блокировке функций, реализация которых может привести к возникновению нештатных ситуаций. Может быть предусмотрена защита посредством принудительной блокировки соединителей, ручного перевода арматуры в открытое положение, организации взаимоблокировки функций, автоматической паузы на протяжении заданного времени при реализации последовательности выполнения нескольких функций, использования защитных крышек на панелях управления и кнопках. При взаимоблокировке должна быть предусмотрена возможность ручного обхода блокировки в любой момент.

Должна быть предусмотрена возможность управления операциями с помощью автономных панелей, расположенных в заданных точках. Должна быть запрещена возможность одновременного управления оборудованием с различных постов управления. Проект системы должен обеспечивать инициирование последовательности аварийного останова и отсоединения в любой момент со всех предусмотренных постов управления.

5.5.5 Функции останова и отсоединения

Система управления внутрискважинными работами должна включать функции автоматического последовательного останова и расстыковки модулей, активируемые с расположенных на судне панелей управления. Как правило, должны быть предусмотрены два уровня останова (технологический и аварийный) и функция аварийного отсоединения. Последовательность реализации и продолжительность каждого отдельного шага в автоматической последовательности должны быть направлены на предотвращение возникновения опасной ситуации.

Процесс технологического останова должен обеспечивать отключение райзера З/РС от технологического оборудования на судне, с которого проводят работы. Как правило, процесс технологического останова включает закрытие арматуры на отводящей линии ПИФА райзера.

Процесс аварийного останова должен заключаться в последовательном закрытии элементов, формирующих барьеры. Последовательность закрытия таких элементов должна учитывать возможность нахождения в стволовом проходе гибких труб или каната, а также результат их срезания с падением или подъемом гибких труб или каната.

Аварийное отсоединение должно обеспечивать последовательное срабатывание барьерных элементов с последующим отсоединением райзера от соединительного элемента, расположенного над верхним барьером (например, блока аварийного отсоединения или фиксатора подводной испытательной арматуры).

Система управления внутрискважинными работами должна обеспечивать реализацию последовательности аварийного останова за установленное время, продолжительность которого определяют на основе общей оценки возможных аварийных ситуаций и их последствий.

Система управления внутрискважинными работами должна быть рассчитана таким образом, чтобы аварийное отсоединение могло быть реализовано за установленный интервал времени, определяемый на основе анализа развития аварийных ситуаций на выполняющем работы судне (например, потеря позиционирования), после активации необходимых барьеров.

В случае непреднамеренного отсоединения все элементы обеспечения безопасности должны автоматически перейти в безопасное положение.

Конструкция системы должна обеспечивать минимальное попадание внешней среды (например, морской воды или флюида в райзере) в гидравлические линии управления отсоединяемого модуля (например, модуля экстренного отсоединения, нижнего узла-превентора райзера для внутрискважинных работ, подводной испытательной арматуры и т. д.) после отсоединения.

5.5.6 Общие требования

Система управления внутрискважинными работами, как правило, обеспечивает управление модулями, перечисленными в таблице 6.

Система управления внутрискважинными работам, как правило, состоит из следующих модулей:

- гидравлической установки высокого давления;
- главной панели управления;
- панелей дистанционного управления;
- панели активации технологического останова;
- панели активации аварийного останова;
- модуля управления райзером;
- модуля управления внутрискважинными работами;

- шлангокабеля;
- лебедок шлангокабеля.

Таблица 6 — Модули, контролируемые системой управления внутрискважинными работами

Режим работы с трубной головкой	Режим работы с ПФА
ПИФА	ПИФА
Клапан лубрикатор	Клапан лубрикатор
Стопорный клапан	Стопорный клапан
Испытательная секция в составе колонны для спуска	Блок аварийного отсоединения
Инструмент для спуска трубной головки	ПВО К/ГТ
Трубная головка	Инструмент для спуска ПФА
Инструмент для спуска колпака ПФА	ПФА
Внутренний защитный колпак ПФА	Внутренний защитный колпак ПФА
ПФА	Мониторинг внутрискважинного оборудования и функции регулирования притока
Мониторинг внутрискважинного оборудования и функции регулирования притока	SCSSV
SCSSV	—

Кнопки активации функций аварийного останова и аварийного отсоединения должны быть четко идентифицированы и расположены на главной панели управления, панели дистанционного управления и панелях аварийного останова.

Панели дистанционного управления должны быть расположены на буровой площадке, предпочтительно в кабине бурильщика.

Панели аварийного останова должны быть расположены на основных маршрутах эвакуации или мостках.

Панель технологического останова должна находиться в зоне расположения оборудования для испытания скважины.

В случае наличия общих функций управления между системами управления внутрискважинными работами и добычей гидравлические жидкости в системах управления должны быть идентичны и должны соответствовать одинаковым требованиям к чистоте и составу.

Для обеспечения управления при отказе основной системы энергоснабжения должен быть предусмотрен источник бесперебойного электропитания. Источник бесперебойного электропитания должен обеспечивать штатное выполнение функций системы управления в течение 30 мин и последующую реализацию аварийного останова и отсоединения в течение 1 ч после отказа основной системы энергоснабжения.

Все электрооборудование должно быть разработано в соответствии с требованиями для взрывоопасной зоны класса 1, категории взрывоопасности взрывоопасной смеси IIB и группы смеси по температуре самовоспламенения Т3 в соответствии с *ГОСТ 31610.0*. Должен быть выполнен гидравлический/электрический анализ для подтверждения правильного выбора размеров компонентов для использования в заданном диапазоне глубин воды. Анализ должен подтвердить, что проектные решения обеспечивают выполнение установленных требований к последовательностям останова и аварийного отсоединения.

Вся гидравлическая обвязка, трубы и шланги должны соответствовать требованиям *ГОСТ Р 71160—2023 (подпункт 7.4.1.3)*.

Надводные и подводные гидравлические аккумуляторы должны соответствовать требованиям *ГОСТ Р 71160—2023 (подпункт 6.4.5.2)*.

Точность манометров давления и датчиков должна находиться в пределах ±1 % максимального значения шкалы или быть более высокой.

Для всех внешних панелей управления, оконечных устройств шлангокабелей и многоканальных разъемов должны быть предусмотрены защитные крышки для предупреждения повреждений и/или загрязнения разъемов при транспортировании и эксплуатации.

Система управления внутрискважинными работами должна быть спроектирована с учетом условий внешней среды на открытой палубе судна, с которого выполняют работы.

Оборудование должно быть ударопрочным и виброустойчивым, выдерживать нагрузки при транспортировании и перемещении судна.

Все блоки должны быть установлены на салазках и рассчитаны на выполнение подъемно-транспортных операций в морских условиях и на берегу с помощью автопогрузчика или крана.

Блоки, перемещаемые с помощью крановой техники, должны быть оборудованы подъемными проушинами и грузоподъемными приспособлениями, сертифицированными для крановых операций в морских условиях. На всех блоках должны быть предусмотрены специальные морские крепления, способные выдерживать крен до 45°.

Все закрытые рабочие зоны/контейнеры должны иметь два отдельных выхода для персонала.

5.5.7 Гидравлическая система высокого давления

Гидравлическая система высокого давления должна включать насосы, аккумуляторы низкого и высокого давления, питающие и возвратные резервуары, устройства промывки/фильтрации и панель управления/аварийной сигнализации системы высокого давления.

Производительность гидравлической системы высокого давления должна обеспечивать выполнение всех требуемых функций системы управления за установленное время срабатывания.

Конструкция гидравлической системы должна в максимально возможной степени обеспечивать возможность отключения и обслуживания отдельных компонентов без нарушения работы гидравлической системы.

На входе и выходе гидравлической системы должны быть установлены стационарные манометры для измерения давления.

Система высокого давления должна включать контур высокого давления для управления внутрискважинным клапаном отсекателем и другими функциями высокого давления и контур низкого давления для работы клапанов и соединителей, если не определено иначе.

Во всей системе для каждого класса давлений необходимо использовать фитинги одного типа.

Процессы хранения и фильтрации гидравлической жидкости системы высокого давления должны обеспечивать поддержание требуемого класса чистоты. Гидравлическая жидкость должна соответствовать тем же стандартам, что и гидравлическая жидкость, используемая в системе управления добычей.

Емкости для гидравлической жидкости должны быть оборудованы визуальными индикаторами уровня предпочтительно с аудиовизуальной сигнализацией низкого и аварийно-низкого уровня.

Емкости для гидравлической жидкости должны быть изготовлены из нержавеющей стали, оборудованы циркуляционным(и) насосом(ами) и фильтрами для промывки/заливки новой жидкости. Точки отбора проб должны быть расположены в самой нижней точке емкости и на насосе. Гидравлическая жидкость из возвратных линий должна быть отфильтрована перед поступлением в подающую систему или направлена в сливную емкость.

Для обеспечения необходимой чистоты гидравлической жидкости должны быть предусмотрены дублирующие фильтры. Должна быть обеспечена простая замена фильтров с минимальным риском загрязнения гидравлической системы. Фильтры должны быть оснащены индикатором уровня загрязнения. В случае использования в системе гидравлической жидкости на основе масла должен быть предусмотрен отвод воды.

В состав контуров высокого и низкого давления должны входить гидравлические аккумуляторы.

Система насосов должна обеспечивать зарядку расположенных на палубе аккумуляторов за 15 минут и поддерживать его во всех рабочих режимах.

Емкость гидравлических аккумуляторов высокого давления должна обеспечивать пятикратное приведение в действие SCSSV с запасом 50 % до момента, когда будет достигнуто минимальное рабочее давление системы без зарядки гидроаккумуляторов от насоса.

Аккумуляторы низкого давления должны обеспечивать реализацию следующих функций системы:

а) операции с нижним узлом-превентором райзера для внутрискважинных работ: управление подводными клапанами и клапанами ППВО К/ГТ (закрытие-открытие-закрытие плюс 25 % на операцию закрытия) до момента достижения минимального рабочего давления системы;

b) операции с трубной головкой: приведение в действие клапанов ПФА, испытательной секции в составе колонны для спуска, стопорного клапана и клапана лубрикатора (закрытие-открытие-закрытие плюс 25 % на операцию закрытия) до момента достижения минимального рабочего давления системы.

Для последнего шага закрытия давление в аккумуляторе должно обеспечивать срезание гибких труб с геофизическим кабелем внутри (если определено заказчиком) и окончательное отсоединение райзера.

Если отдельные аккумуляторы расположены в нижнем узле-превенторе райзера или в колонне для спуска, то их емкость должна быть учтена при расчете требуемого объема аккумуляторов.

Аккумуляторы должны иметь индивидуальную визуальную индикацию низкого давления азота. Максимальный уровень шума не должен превышать нормативных значений.

5.5.8 Главная панель управления

Главная панель управления должна обеспечивать распределение гидравлической энергии высокого давления к шлангокабелям системы управления. Главная панель управления должна включать дисплей, на котором должна отображаться мнемосхема управляемого оборудования и реализуемых функций. Мнемосхема должна обеспечивать управление всеми функциями ПФА, колонны для спуска и инструмента для спуска. Результат выполнения каждой функции должен отображаться на мнемосхеме.

Должны быть предусмотрены индикаторы давления/манометры для контроля давления в гидравлической системе и давления в каждой функциональной линии. Все функции, связанные с испытанием под давлением, должны быть оборудованы изолирующей арматурой для изоляции внешних контуров и устройством контроля давления для регистрации данных испытаний. До начала испытания давление на запорной арматуре должно быть сброшено.

Должно быть исключено непреднамеренное срабатывание соединителей во время спуска. Инициирование критических функций, таких как открытие соединителей и закрытие срезающих плашек, должно быть защищено системой блокировки, защитными крышками на панели управления или перекрытием соответствующих гидравлических линий.

Все органы управления и индикаторы должны быть снабжены соответствующими обозначениями. Все компоненты главной панели управления должны быть рассчитаны на условия эксплуатации.

5.5.9 Панель дистанционного управления

Назначением панели дистанционного управления является активация функций технологического останова, аварийного останова, аварийного отсоединения, а также других функций, определяемых заказчиком.

Панель дистанционного соединения должна иметь электрическое соединение с главной панелью управления. Длина электрических кабелей должна обеспечивать возможность их прямого подключения к главной панели управления.

Панель дистанционного управления должна работать как подчиненное устройство главной панели управления. Включение панели должно контролироваться селекторным переключателем на главной панели управления. Индикаторы активной панели должны быть расположены на главной панели и на панели дистанционного управления.

Должна быть предусмотрена система контроля состояния кабеля подключения панели для уведомления оператора о повреждении кабеля. В случае повреждения кабеля панели дистанционного управления должно происходить автоматическое включение главной панели управления.

5.5.10 Панель аварийного останова

Панель(и) аварийного останова должна(ы) обеспечивать запуск последовательности технологического останова, аварийного останова и аварийного отсоединения.

Панель аварийного останова должна иметь электрическое соединение с главной панелью управления. Длина электрических кабелей должна обеспечивать возможность их прямого подключения к главной панели управления. Должна быть предусмотрена система контроля состояния кабеля подключения панели для уведомления оператора о повреждении кабеля.

Должны быть предусмотрены индикаторные лампы для отображения текущего состояния панели.

5.5.11 Панель технологического останова

С помощью панели технологического останова должна быть обеспечена возможность инициирования процесса технологического останова.

Система управления внутрискважинными работами должна иметь соединение с расположенной на палубе системой аварийного останова для запуска процесса останова технологического процесса

при получении сигнала останова. Отсутствие связи с системой аварийного останова должно приводить к реализации процесса технологического останова.

Панель технологического останова должна иметь электрическое соединение с главной панелью управления или панелью дистанционного управления. Электрические кабели должны иметь достаточную длину для прямого подключения. Должна быть предусмотрена система контроля состояния кабеля подключения панели для уведомления оператора о повреждении кабеля.

Должны быть предусмотрены индикаторные лампы для отображения текущего состояния панели.

5.5.12 Модуль управления райзера

В состав электрогидравлической системы управления входит модуль управления райзера, который устанавливают внутри или на райзере З/РС; он может быть использован в режиме работы с трубной головкой для управления операциями колонны для спуска и функциями внутрискважинного оборудования.

Модуль управления райзера, как правило, включает в себя гидравлические и электрические разъемы, гидравлические управляемые клапаны и электронное оборудование.

Модуль управления райзером должен быть рассчитан на эксплуатацию внутри бурового райзера. Особое внимание должно быть уделено рабочей температуре, внешнему давлению, свойствам флюидов в буровом райзере, нагрузкам от ударов и вибрации при транспортировании и перемещении на трубной палубе и полу буровой установки, воздействиям в процессе функциональных испытаний на буровой установке, подъема на вышку, спускоподъемных операций в штормовых условиях.

Проектирование модуля управления райзера необходимо осуществлять в соответствии с 5.5.14.

5.5.13 Модуль управления внутрискважинными работами

Электрогидравлическая система модуля управления внутрискважинными работами может быть использована в режиме работы с ПФА для управления нижним узлом-превентором райзера, фонтанной арматурой и внутрискважинным оборудованием.

Модуль управления внутрискважинными работами должен быть установлен на модуле экстренного отсоединения или на секции райзера выше указанного модуля.

Модуль управления внутрискважинным работами, как правило, включает гидравлические и электрические разъемы, гидравлические управляемые клапаны и электронное оборудование.

Модуль управления внутрискважинными работами должен обеспечивать выполнение операций в режиме работы с ПФА. Особое внимание должно быть уделено рабочей температуре, внешнему давлению, нагрузкам от ударов и вибрации при транспортировании, перемещении на трубной палубе и полу буровой установки, воздействиям в процессе функциональных испытаний на буровой установке, подъема на вышку, волновому воздействию при спуске и подъеме, спускоподъемных операциях в штормовых условиях.

Проектирование модуля управления внутрискважинными работами необходимо осуществлять в соответствии с 5.5.14.

5.5.14 Проектирование модулей управления

Проектирование модуля управления райзера и модуля управления внутрискважинными работами необходимо выполнять в соответствии со следующими положениями:

a) модули управления должны переводить систему райзера в безопасное состояние в случае потери давления в гидравлической системе;

b) потеря электроснабжения и/или связи не должна приводить к полному отключению управления или к невозможности перевода скважины в безопасное состояние. Данное требование может быть выполнено, если при отсутствии электроснабжения и/или связи система управления остается в текущем состоянии;

c) время срабатывания модуля управления должно соответствовать требованиям к времени реализации последовательности аварийного останова и аварийного отсоединения;

d) скорость обмена данными между модулем управления и оборудованием на палубе судна должна соответствовать требованиям к времени реализации последовательности аварийного останова и аварийного отсоединения;

e) все активные электронные модули должны быть расположены в герметичном газонаполненном корпусе, рассчитанном на внешнее давление для заданных условий эксплуатации;

f) электрические элементы электрогидравлических модулей должны быть смонтированы в заполненных диэлектрической жидкостью корпусах с компенсацией давления;

g) электронное оборудование должно иметь 100 %-ное резервирование;

h) управление всеми питающими и функциональными линиями может выполняться с помощью электромагнитных соленоидных клапанов;

i) давление в каждой линии подачи гидравлической энергии или функциональной линии следует контролировать с помощью датчика давления;

j) модуль управления должен передавать в установленную на палубе судна систему управления информацию о корректности завершения выполняемой операции;

k) утечки в гидравлической системе не должны влиять на работоспособность электрических/электронных систем;

l) после выполнения команды гидравлическая жидкость может быть направлена в возвратную линию в составе шлангокабеля или, если это допускается нормативными требованиями, сброшена во внешнюю среду через специальный клапан;

m) линии системы с прямым гидравлическим управлением не должны иметь контролируемых модулем управления клапанов;

n) линии подачи гидравлической энергии должны иметь фильтр.

5.5.15 Шлангокабели и перемычки

Линии шлангокабеля должны обеспечивать передачу сигналов управления от расположенного на палубе судна оборудования системы управления к подводному оборудованию. Передаваемые сигналы могут быть гидравлическими и электрическими.

Конструкция шлангокабеля системы управления должна включать линии управления и мониторинга, необходимые для системы внутрискважинных работ в заданном режиме эксплуатации.

Шлангокабель и перемычки должны соответствовать требованиям к гидравлическим и электрическим линиям системы управления.

Конструкция шлангокабеля должна обладать достаточной механической прочностью, определяемой с учетом статических и динамических нагрузок, действующих на внутренние гидравлические линии и электрические кабели во всех заданных режимах работы системы внутрискважинных работ.

Материал гидравлических линий должен быть совместим с гидравлической жидкостью системы управления. Материалы, используемые в конструкции шлангокабеля, в случае пожара не должны выделять токсичные продукты горения.

Размеры гидравлических линий должны обеспечивать заданный расход гидравлической жидкости, определяемый на основе требований ко времени срабатывания клапанов и соединительных элементов. Размеры гидравлических линий должны быть верифицированы посредством выполнения гидравлических расчетов.

Конструкция шлангокабеля должна включать не менее одной резервной гидравлической линии, если иное не установлено заказчиком.

Оконечные устройства шлангокабеля должны быть оборудованы ограничителями изгиба, а сопряжения отдельных линий должны быть защищены от случайного повреждения.

Шлангокабель(и) может(могут) быть закреплен(ы) хомутами на колонне райзера или отдельном натянутом направляющем тросе.

Проектирование, изготовление и испытания шлангокабеля необходимо проводить в соответствии с требованиями *ГОСТ Р 71204*.

5.5.16 Быстроразъемные многоканальные соединения

Шлангокабели и перемычки шлангокабеля должны заканчиваться быстроразъемными многоканальными соединениями.

Конструкция быстроразъемных многоканальных соединений должна обеспечивать их быстрое и простое подключение/отсоединение при обеспечении необходимого центрирования для правильного выравнивания соединителя и предотвращения его повреждения. Конструкция быстроразъемных многоканальных соединений должна быть рассчитана на ручное выполнение операций соединения и разъединения. Должен быть предусмотрен фиксирующий механизм, рассчитанный на действие проектных нагрузок. Фиксирующий механизм должен включать блокирующий элемент для предупреждения случайного разъединения.

Для подъема и ориентации при подсоединении конструкция быстроразъемных многоканальных соединений должна включать подъемную проушину.

5.5.17 Лебедка шлангокабеля

Лебедка шлангокабеля должна быть рассчитана на полную длину заполненного флюидом шлангокабеля плюс 20 % резервной длины.

Лебедка должна иметь пневматический привод с подачей технического воздуха от пневматической системы судна или гидравлический привод с питанием от гидравлической системы высокого давления, или электрический привод с питанием от судовой энергосистемы.

Конструкция лебедки должна быть рассчитана на крутящий момент и скорость вращения, необходимые для эффективной работы оборудования.

Лебедка должна быть оборудована поперечной направляющей системой возвратно-поступательного действия для правильной намотки шлангокабеля на барабан при извлечении.

Компоненты, необходимые для работы лебедки, должны быть установлены на лебедке.

Лебедка должна быть установлена на салазках с защитной рамой, предназначенных для перемещения с помощью подъемника. Конструкция лебедки должна включать четырехточечное крепление для крановых операций. Привод лебедки должен иметь систему управления, обеспечивающую ее движение вперед и назад, а также фиксацию.

Должны быть предусмотрены надлежащая фильтрация, смазка и регулирование давления в системе подачи технического воздуха/гидравлической жидкости в барабан лебедки, для защиты пневматического/гидравлического двигателя от износа или повреждения.

Лебедка должна быть оборудована отказобезопасной системой торможения для остановки и стопорения. Следует предусмотреть независимую тормозную систему с ручным управлением. Тормозная система должна обеспечивать усилие, достаточное для остановки лебедки и удерживания шлангокабеля при максимальном рабочем натяжении.

Лебедка должна быть оборудована быстроразъемной соединительной пластиной для крепления шлангокабеля. На лебедке должна быть предусмотрена предохранительная система для блокировки привода барабана в процессе соединения со шлангокабелем.

Лебедка должна быть оборудована гидравлическими разъемами или быстроразъемным многоканальным соединением, изолирующими клапанами и манометрами для опрессовки и изоляции отдельных гидравлических линий. Указанные элементы должны быть размещены на панели лебедки.

Лебедка должна быть оснащена дистанционным пультом управления в дополнение к пульту управления, расположенному на барабане. Кабель дистанционного пульта управления должен иметь длину не менее 20 м.

5.5.18 Катушки шлангокабеля

Катушки шлангокабеля должны обеспечивать его размещение во время установки, извлечения и эксплуатации. Катушки должны ограничивать минимальный радиус изгиба шлангокабеля и обеспечивать плавное движение шлангокабеля при наматывании и сматывании.

Проушины катушек и устройства для их закрепления должны быть рассчитаны на рабочую нагрузку, равную или превышающую предел прочности на разрыв размещаемого на них шлангокабеля.

5.5.19 Испытательное и вспомогательное оборудование

Система управления внутрискважинными работами должна поставляться вместе с оборудованием, необходимым для проведения испытаний, и вспомогательным оборудованием, включая соединительные электрические перемычки, шланги для охлаждающей жидкости и установку нагнетания азота с заправочными шлангами.

6 Проектные требования

6.1 Назначение

Настоящий раздел определяет принципы проектирования, нагрузки, воздействия и требования к проектированию компонентов райзера, включая трубы и соединители.

6.2 Принципы проектирования

6.2.1 Назначение

В 6.2 приведено описание принципов и методов проектирования.

6.2.2 Основные требования

Проектирование, изготовление, сборка и техническое обслуживание системы райзера З/РС и его компонентов должны соответствовать условиям ее применения. Система райзера З/РС должна:

a) выдерживать воздействие проектных нагрузок в течение установленного срока службы;

b) обеспечивать требуемый уровень безопасности для персонала и окружающей среды;

c) обеспечивать требуемые эксплуатационные параметры в течение заданного срока службы.

6.2.3 Общие положения

При проектировании системы райзера З/РС, его компонентов и деталей необходимо соблюдать следующие принципы:

a) секции и компоненты райзера должны быть устойчивы к вязкому (пластическому) разрушению;

b) секции и компоненты райзера должны быть спроектированы таким образом, чтобы случайные события не приводили к аварийному отказу;

c) секции и компоненты райзера должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать концентрации напряжений (амплитуду цикла напряжений и накопление усталостных повреждений), например, с помощью конструкции, обеспечивающей распределение напряжений в переходных поперечных сечениях, и уменьшения числа сложных схем распределения напряжений;

d) изготовление секций и компонентов райзера должно осуществляться в соответствии с признанными технологиями и практикой;

e) проектирование деталей конструкции и выбор материалов должны быть направлены на минимизацию коррозии, эрозии и износа;

f) операции установки, извлечения должны быть простыми и надежными, обеспечивая надежность системы в процессе эксплуатации;

g) обеспечение необходимого доступа для контроля, технического обслуживания, замены и ремонта;

h) обеспечение процесса мониторинга состояния райзера с точки зрения натяжения, перемещений, возникающих напряжений, углов отклонения, вибраций и т. п.

Основные принципы обследования райзера следует рассматривать как неотъемлемую часть его проектирования. Критичность компонентов и подходы к проведению обследования следует рассматривать на ранней стадии проектных работ для обеспечения необходимых мер контроля технического состояния.

Проектировщик должен разработать и детально описать в эксплуатационной документации процедуры обследования и замены элементов райзера З/РС и периодичность выполнения указанных работ.

6.2.4 Методы проектирования

Проектирование системы райзера З/РС должно быть основано на проведении расчетов в сочетании с необходимыми испытаниями.

Примечания

1 Методы расчета предполагают использование аналитических уравнений или численного моделирования, например метод конечных элементов или метод граничных элементов с применением специализированных компьютерных программ.

2 Там, где настоящий стандарт не определяет применимый метод расчетов или испытаний, проектировщик несет ответственность за использование общепризнанных методов для обоснования конструктивных параметров и выбора материалов. Система райзера З/РС и ее компоненты должны быть спроектированы с учетом возможных видов отказов.

3 Вид отказа — это состояние райзера или его компонента, выходящее за границы проектных требований. Примерами видов отказа являются потеря сопротивления материалов (избыточная пластическая деформация и потеря устойчивости), усталостное разрушение, образование утечек, нестабильное разрушение, смещения, превышающие проектные ограничения, выход за пределы минимального зазора, механический отказ.

В процессе проектирования необходимо использовать расчетные коэффициенты или коэффициенты запаса прочности при применении известных комплексных методов расчета, которые таким образом обеспечивают соответствующий запас надежности относительно учитываемых видов отказов.

Общий вид предела прочности в настоящем стандарте представлен выражением

$$S_d \le R_d = R_{uc} \cdot F_d, \quad (1)$$

где S_d — напряжение при расчетной нагрузке, МПа;

R_d — расчетный предел прочности (несущая способность), МПа;

R_{uc} — предел прочности материала, МПа;

F_d — коэффициент использования (расчетный коэффициент).

Такой формат проектирования называется методом расчета по допускаемым напряжениям, при котором надежность обеспечивается применением расчетных коэффициентов прочности компонентов. Этот расчетный коэффициент зависит от типа отказа и проектных условий.

Примечание — Расчетный(е) коэффициент(ы) принимает(ют) во внимание общую неопределенность и возможные отклонения воздействия нагрузки и сопротивления. Обратное значение расчетного коэффициента (<1) можно рассматривать как коэффициент запаса прочности. В некоторых нормах проектирования по допускаемым напряжениям и стандартах расчетный коэффициент также называется «допустимый коэффициент напряжений» или «коэффициент использования». Значения коэффициента использования для различных условий нагружения приведены в 6.5, 6.4 и в приложении С.

В качестве альтернативы методу проектирования по допускаемым напряжениям или в качестве дополнительных аналитических методов определение воздействия нагрузок и сопротивление можно основывать на результатах испытаний или исследований конструктивных характеристик моделей или полномасштабных систем райзеров с использованием надлежащих методов. Также можно применять вероятностный подход, основанный на общепринятых методах анализа надежности конструкций. Методы анализа надежности на основе результатов испытаний, как правило, рассматривают в приложении к особым случаям конструкторских задач (например, в случае действия особых нагрузок, не учитываемых в аналитическом выражении), для проверки расчетных коэффициентов, используемых в методе расчета по допускаемым напряжениям для видов отказов, не рассматриваемых в настоящем стандарте, и для условий с ограниченным опытом реализации. Также можно использовать метод расчета по точно установленным значениям напряжения и предела прочности.

Номинальные значения S_d и R_{uc}, используемые в процессе проектирования, как правило, основаны на квантили на нижнем краю функции распределения предела прочности и верхних квантилях для функции распределения напряжения.

Для расчета напряжения от воздействия нагрузки:

a) при учете воздействия окружающей среды:

- для постоянных условий эксплуатации должно использоваться наиболее вероятное экстремальное комбинированное воздействие с повторяемостью один раз за 100 лет (годовая вероятность превышения 10^{-2});
- для кратковременных условий эксплуатации должно использоваться наиболее вероятное экстремальное комбинированное воздействие для следующих периодов повторяемости:
- один раз в 100 лет, если продолжительность (например, непрерывной работы) превышает 6 месяцев;
- один раз в 10 лет для фактических сезонных условий окружающей среды, если продолжительность работы превышает три дня, но меньше 6 месяцев;
- заданные экстремальные значения нагрузки для периода времени менее трех дней или для операций, которые могут быть завершены в течение трех дней;

b) значения давления и температуры, которые могут быть превышены с весьма малой вероятностью в течение срока эксплуатации райзера, можно использовать в качестве минимальных/максимальных проектных значений давления и температуры;

c) собственный вес и плавучесть могут быть рассчитаны на основе номинальных размеров и средней удельной массы;

d) для верхнего натяжения можно использовать номинальное значение;

e) предельные значения могут быть использованы как характеристические для ограниченных воздействий;

f) максимальные и минимальные предельные значения за заданный период могут быть использованы для напряжений, вызванных деформацией, например вследствие предполагаемого смещения судна или температурного воздействия;

g) значения особых нагрузок должны быть заданы в каждом отдельном случае.

Примечание — Характеристические значения давления и температуры определяют режим давление — температура, граничные значения которого могут быть превышены с весьма малой вероятностью в течение срока эксплуатации райзера.

Для расчета предела прочности:

a) можно использовать номинальные значения геометрических размеров, за исключением толщины стенки, для которой применимо следующее:

- для комбинированных воздействий необходимо использовать номинальное значение толщины за вычетом припуска на коррозию;
- для расчета напряжения от действия давления необходимо использовать номинальное значение толщины стенки за вычетом допуска на изготовление и припуска на коррозию (например, см. 6.5.2);

b) квантиль 2,3 % для соответствующих экспериментальных данных (среднее значение предела прочности минус два среднеквадратических отклонения) или минимальные заданные значения должны быть использованы для оценки прочности при проектных температурах, т. е. предела текучести и предела прочности при растяжении;

c) для других характеристик, например модуля упругости, коэффициента линейного теплового расширения, можно использовать номинальные или средние значения.

Формат безопасности для расчета сопротивления усталости в настоящем стандарте определяется выражением

$$\frac{L_F}{D_F} \geq L_S, \tag{2}$$

где L_F — расчетная усталостная долговечность;

D_F — коэффициент использования относительно усталости;

L_S — срок эксплуатации, лет.

Для расчета напряжений от циклических нагрузок необходимо использовать статистические данные для ожидаемых нагрузок.

Для расчета сопротивления усталости:

a) должна быть использована квантиль 2,3 % для соответствующих экспериментальных данных, то есть:

- расчетная кривая усталости *S—N* [график, характеризующий зависимость между максимальными напряжениями (деформациями) или амплитудами цикла и циклической долговечностью] должна основываться на средней кривой минус два среднеквадратических отклонения,
- расчетные параметры распространения трещины должны быть основаны на средних значениях плюс два среднеквадратических отклонения;

b) должен быть использован ожидаемый начальный размер трещины после изготовления с учетом наличия неразрушающего контроля (вероятность обнаружения трещины 50 %).

6.3 Нагрузки и напряжения от воздействия нагрузок

6.3.1 Назначение

В 6.3 приведены категории нагрузок, учитываемых при проектировании систем райзера, и требования к общему анализу райзерной системы.

6.3.2 Определение категорий нагрузки

6.3.2.1 Общие положения

Нагрузки подразделяют на следующие категории: функциональные, от действия окружающей среды и особые. Данные нагрузки определяют следующим образом:

a) функциональные нагрузки — это нагрузки, обусловленные физическими параметрами самого райзера З/РС и параметрами его эксплуатации, без учета нагрузок от воздействия окружающей среды и особых нагрузок;

b) нагрузки от воздействия окружающей среды — это нагрузки, возникающие вследствие прямого или опосредственного воздействия окружающей среды на райзерную систему З/РС, не относящиеся к функциональным или особым нагрузкам;

c) особые нагрузки (или нагрузки с низкой вероятностью возникновения) — это нагрузки, связанные с аномальными условиями эксплуатации или с возникновением технических отказов.

Если не установлены специальные исключения, при определении нагрузки необходимо использовать требования 6.2.4.

6.3.2.2 Расчетные значения давления и температуры

Райзерную систему З/РС следует проектировать для эксплуатации при одном из расчетных значений давления, приведенных в таблице 7. Следует предусматривать, чтобы клапаны, фланцы, соединители и другие компоненты имели расчетное давление (или номинальное давление), равное или превышающее значение расчетного давления райзера З/РС. Расчетное давление райзерной системы определяется минимальным расчетным давлением входящего в систему компонента.

Для применения в глубоководных условиях, где дифференциальное давление определяется глубиной воды, допустимо определять интервалы номинальных давлений, чтобы избежать излишне консервативного подхода и уменьшить массу райзера.

Таблица 7 — Внутреннее расчетное давление

$p_{int,d}$, МПа
34,5
69,0
103,5
138,0

Внутреннее расчетное давление или номинальное давление в любой точке райзерной системы З/РС должно быть равно максимальному рабочему давлению или превышать его. Гидростатическое давление флюида необходимо учитывать при определении установившегося давления.

Внутреннее расчетное давление не должно быть меньше, чем рабочее давление, давление в закрытой скважине, включая давление при пробковом режиме потока, максимальное давление в аккумуляторе, давление сброса (установка давления для открытия предохранительного клапана плюс избыточное давление) и давление в процессе глушения скважины, интенсификации притока или закачки. Более высокое номинальное значение давления может потребоваться для компонентов, подверженных риску вследствие утечки из источников высокого давления (например, линий управления внутрискважинного клапана SCSSV).

При проектировании действие давления на компонент следует определять с учетом разницы между внутренним и внешним давлением.

Для глубоководных условий дифференциальное давление на корпус элементов, работающих под давлением, существенно снижается за счет воздействия внешнего гидростатического давления. Данный эффект может быть учтен при определении фактического рабочего давления для каждого компонента. Следует заметить, что испытания под давлением при атмосферных условиях должны быть соответствующим образом скорректированы [например, см. *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 (подпункт 5.1.2.1)*].

Для расчетного давления необходимо указывать уровень отсчета, для которого выполнена оценка, и соответствующие значения температуры и плотности флюида. В качестве уровня отсчета может быть принято устье скважины (морское дно) или верх райзера (на поверхности).

Разница между внутренним и внешним давлением должна быть использована при выполнении расчетов, поскольку гидростатическое давление флюида с внутренней и жидкости с внешней стороны райзера изменяется с глубиной. Внутреннее давление $p_{l,int}$, Па, в заданной точке райзерной системы З/РС относительно давления на уровне отсчета в заданной точке p_{int} определяют по формуле

$$p_{l,int} = p_{int} + \rho_{int} \cdot g \cdot h, \quad (3)$$

где ρ_{int} — плотность флюида внутри райзера, кг/м^3;

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

h — разница высот между фактической точкой, в которой определяется давление, и уровнем отсчета, м.

Присутствие газа в пластовом флюиде внутри райзера может снизить гидростатическое давление. Данное обстоятельство необходимо учитывать при расчете максимально допустимого статического давления в закрытой скважине для конкретных условий применения.

Рекомендуется проектировать райзерную систему З/РС для работы с одним или несколькими классами расчетных температур, как установлено в таблице 8. Для выбора подходящего проектного решения необходимо рассматривать различные комбинации внутреннего и внешнего давления в сочетании с соответствующей температурой. При необходимости возможно использовать промежуточные классы давления и температуры.

Максимальная расчетная температура материалов райзера не должна быть ниже, чем температура флюида, за исключением случаев, когда использование других температур подтверждено расчетами, испытаниями или опытом применения с проведением фактических замеров. Любые расчеты теплопередачи надводной части райзра должны выполняться при условии отсутствия потери тепла вследствие действия ветра. Для подводных деталей необходимо учитывать охлаждение под воздействием морской воды.

Таблица 8 — Классы расчетных температур на основе температуры флюида

Класс температур	Рабочий диапазон, °С	
	не менее	не более
K	–60	82
L	–46	82
P	–29	82
R	Температура для помещений, *категория 4 по ГОСТ 15150*	
S	–18	66
T	–18	82
U	–18	121
V	2	121
X	–18	180
Y	–18	345

Минимальная расчетная температура материала райзера должна быть определена с учетом самой низкой температуры, воздействию которой подвергается компонент в условиях эксплуатации, включая контролируемую продувку оборудования.

При определении нагрузок от воздействия температуры должен быть учтен диапазон температур флюида для выбранного класса температур.

Все компоненты, для которых применимо данное требование, также должны быть рассчитаны на воздействие только внешнего давления. Для установления внешнего гидростатического давления от воздействия морской воды должны быть использованы среднегодовые значения плотности морской воды и средний уровень моря.

Особое внимание должно быть уделено внешнему давлению, превышающему гидростатическое давление внешней среды (в буровом райзере или в море).

Пример — Примерами внешнего давления, которое требует специального внимания, является давление в межколонном пространстве для концентрических райзеров и давление ППВО (во время установки эксплуатационного пакера, испытания трубной головки под давлением, испытания ППВО под давлением, циркуляции межколонного пространства для линий дросселирования/глушения скважины, реализации дополнительных функций колонны для спуска и т. п.).

6.3.2.3 Нагрузки от воздействия окружающей среды

6.3.2.3.1 Общие положения

При расчете нагрузок на райзер должны быть учтены нагрузки от факторов окружающей среды, характерных для конкретного региона эксплуатации, включая этапы хранения и транспортирования.

Пример — Гидродинамические нагрузки на райзер, возникающие от прямого воздействия волн и течений, являются примерами нагрузок от воздействия окружающей среды. Нагрузки, вызванные природными факторами, приводят к смещениям судна, которые также создают нагрузки на райзер, характеризуемые как нагрузки от воздействия окружающей среды.

6.3.2.3.2 Параметры окружающей среды

Следует использовать данные о сочетании нагрузок, например от волн и течений.

Примечание — Основными факторами, определяющими воздействие окружающей среды, являются волны, течения и вызванные ими смещения судна.

При недостатке данных об условиях окружающей среды для рассматриваемого географического региона можно использовать консервативные оценки, основанные на данных аналогичных регионов.

Для регионов с высокой сейсмической активностью необходимо учитывать сейсмические нагрузки, а для замерзающих акваторий — ледовые нагрузки.

Для описания параметров окружающей среды, имеющих случайное распределение (например, волн), должны быть использованы статистические данные. Параметры должны быть получены в ста-

тистически достоверном виде с использованием общепризнанных методов. Статистическое описание должно включать экстремальные значения, а также долговременные и кратковременные изменения, например параметры для описания максимальных волновых воздействий, усталостного напряжения, вызванного волновым воздействием, и других воздействий, таких как вихревые потоки.

6.3.2.3.3 Волны

Информация о волнах должна включать:

a) характеристики состояния моря, включая высоту значительных волн, период пика спектра, спектр формы и спектр направлений;

b) долговременные статистические данные в отношении указанных характеристик в виде сезонных диаграмм повторяемости волн, представленных как высота значительных волн и период пика спектра (или среднего периода прохождения), или высота волны и период волны для отдельных расчетных волн.

Примечания

1 Другие представляющие интерес параметры волн, такие как максимальная высота волны и соответствующий период волны (расчетная волна), могут быть получены из указанных выше данных.

2 Ветровые волны создают значительные циклические нагрузки, воздействующие непосредственно на райзер. Такие волны различны по форме, могут иметь различную длину и высоту и могут воздействовать на райзер с одной или нескольких сторон одновременно. Волны также создают постоянные и циклические воздействия на судно, с которым соединен райзер.

При отсутствии информации о преобладающем направлении волн для его выбора можно использовать информацию о направлении ветра.

Если применимо, следует учитывать комбинацию ветровых волн и зыби для различных направлений.

Примечание — Это имеет особое значение, например, для однокорпусных судов, где движения с большим креном могут приводить к возникновению высокого изгибающего момента в результате наката боковых волн в сочетании с ветровыми встречными волнами.

6.3.2.3.4 Течение

Расчетная скорость, профиль и направление течения должны быть определены с использованием общепринятых статистических методов. Результирующая скорость течения должна учитывать влияние всех связанных факторов, в том числе приливно-отливного течения, ветрового течения, течения штормового нагона, течения, вызванного разницей плотности воды, океанических течений, вихрей, формируемых замкнутым течением, одиночных волн, внутренних волн и других явлений, возникающих из-за разницы в плотности воды.

Особое внимание должно быть уделено определению профиля течений, влияющих на ограничения на выполнение работ из-за состояния моря, особенно применительно к глубоководным условиям.

Следует рассматривать различные профили течения (скорость течения относительно глубины воды) и сочетаний волн.

6.3.2.3.5 Глубина воды и приливно-отливные явления

Должна быть определена глубина воды в точке размещения судна. Если глубина воды является существенным параметром, необходимо учитывать влияние приливно-отливного течения, ветрового и волнового нагонов.

Для определения гидростатического давления морской воды можно использовать значение среднего уровня моря.

6.3.2.3.6 Температура

Должны быть определены максимальные, средние и минимальные сезонные значения температуры воздуха и воды на месте проведения работ, если эти значения температуры предполагается использовать при проектировании райзера. Особое значение это имеет для арктических регионов. При проектировании и выборе материалов следует использовать наиболее консервативные оценки температуры окружающей среды.

Должны быть заданы максимальная и минимальная допустимая температура в процессе хранения и транспортирования райзера.

Примечание — Температура и влажность имеют большое значение для хранения, консервации, проектирования систем управления внутрискважинными работами и т. п.

6.3.2.3.7 Смещение и перемещения судна

При проектировании райзера необходимо учитывать воздействия, вызванные смещением и качкой судна. Должны быть учтены следующие данные в отношении перемещения судна:

a) установившееся смещение: среднее перемещение под воздействием волн, ветра и течений;

b) колебания с частотой волн: перемещения, вызванные действием волны первого порядка;

c) низкочастотные перемещения: перемещения, вызванные порывом ветра и действием волны второго порядка;

d) изменения осадки и натяжения: из-за комбинированного воздействия натяжения якорных оттяжек и смещения судна.

Примечание — Руководящие указания относительно расчета смещения и характерных перемещений плавучего основания [см. *ГОСТ Р 58773—2019 (раздел 9)*].

Смещение и перемещения судна являются причиной статических и динамических нагрузок на райзер. Нагрузки от колебаний с низкой частотой при анализе воздействий можно рассматривать как статические нагрузки.

Качка судна с частотой волны должна быть оценена с применением RAO (операторов амплитудной характеристики), с четким определением амплитуды и угла сдвига фаз, а также направления волны. RAO должны быть определены для всех шести степеней свободы (продольной, поперечной, вертикальной, килевой, бортовой качки и рыскания) и для достаточного числа частот волн, чтобы RAO были хорошо определены вблизи резонансных пиков в динамических системах. Система координат судна, используемая как базовая система, должна быть документально определена с указанием начала координат и направления осей координат. RAO необходимо применять для соответствующих значений осадки судна. Если применимо, следует использовать характеристики системы динамического позиционирования, т. е. допуски позиционирования.

Если применимо, должны быть определены параметры перемещения судна в нештатных условиях, например при повреждении якорных оттяжек.

Примечание — RAO судна зависят от его осадки и размещения подруливающих устройств.

6.3.2.3.8 Определение гидродинамических нагрузок

В результате расчета должны быть определены гидродинамические нагрузки (см. 6.3.4). Если теоретические расчеты имеют существенную неопределенность, то они должны быть подтверждены модельными испытаниями или натурными измерениями на существующих райзерах З/РС или комбинацией таких испытания и натурных замеров.

6.3.2.4 Особые нагрузки

Райзерная система З/РС должна быть рассчитана на особые нагрузки. Особые нагрузки определяют как нагрузки с годовой вероятностью возникновения менее чем 10^{-2} и более чем 10^{-4}.

Величина и частота возникновения особых нагрузок для конкретного райзера З/РС и судна могут быть определены при проектировании системы, проведении анализа риска и на основе анализа соответствующего накопленного опыта (см. 4.6).

Пример — Примерами особых нагрузок являются нагрузки, вызванные отказом системы верхнего натяжения или блокировкой компенсатора вертикальных перемещений, отказом системы динамического позиционирования (увод или снос). Также к особым относят нагрузки, вызванные аварийным режимом работы, потерей плавучести, изменениями заданного перепада давления, непреднамеренным изменением в распределении балласта, пожарами, взрывами, ударными воздействиями при столкновении судна/райзера со случайными препятствиями, воздействием падающих объектов и экстремальными условиями окружающей среды.

Для ограничения воздействия особых нагрузок в конструкции райзера можно использовать предохранительные соединения или слабые звенья (см. 6.7.1).

Особые нагрузки для З/РС также должны быть учтены применительно к связанным системам/компонентам. Например, если повреждение райзера З/РС, расположенного внутри бурового райзера, является результатом воздействия особой нагрузки, действие внутреннего давления, возникающее при указанном повреждении, также должно быть рассмотрено применительно к буровому райзеру.

6.3.3 Сочетания нагрузок и условия

Нагрузки и воздействия, которые могут привести к отказу системы райзера З/РС в процессе эксплуатации, должны быть идентифицированы и приняты во внимание при проектировании.

Должно быть подтверждено соответствие системы райзера З/РС критериям проектирования, приведенным в 6.4—6.7, для сочетаний нагрузок, приведенных в 6.3.3.

При определении предельных допускаемых напряжений должны быть рассмотрены наиболее неблагоприятные возможные сочетания функциональных нагрузок, нагрузок от воздействия окружающей среды и особых нагрузок.

Для проведения общего анализа должны быть определены наиболее неблагоприятные варианты ориентации рамы гибких труб или штропов по отношению к наиболее неблагоприятным сочетаниям нагрузок.

Для определения максимальных и минимальных напряжений необходимо рассмотреть различные сочетания высоты и периода волн, профилей течения, минимальных и максимальных смещений судна, плотности, температуры, давления флюидов и т. д.

Примечания

1 Сочетания нагрузок с годовой вероятностью менее 10^{-4} для рассматриваемого периода можно не учитывать. Сочетание особых нагрузок с экстремальными нагрузками от воздействия окружающей среды допускается не учитывать, кроме обоснованных случаев одновременного наступления событий.

2 Ограничение по условиям эксплуатации, как правило, включает определение высоты волны, соответствующий диапазон периодов волны в сочетании с соответствующим профилем течений и диапазоном смещений судна.

Ограничения, устанавливаемые исходя из условий окружающей среды, следует определять для всех режимов работы (см. приложение В), включая следующие:

a) перемещение оборудования, например ПИФА;

b) установку и извлечение оборудования, например ПФА, трубной головки и колонны заканчивания скважины;

c) посадку и закрепление оборудования;

d) отдельные виды работ:

- испытание (например, натяжение до значения, необходимого для проверки фиксации, и гидростатические испытания);
- нормальный режим работы с обеспечением доступа в скважину или закрытием скважины с применением ПИФА;
- нештатный режим работы с подводным перекрытием скважины и сбросом давления;

e) раскрепление:

- штатное отсоединение;
- аварийное отсоединение;

f) избыточное натяжение для извлечения оборудования (например, НКТ, ПФА);

g) вывешивание райзера в штормовых условиях;

h) особые условия, например в режиме соединения:

- отказ компенсатора вертикальной качки (например, потеря натяжения или блокировка компенсатора),
- отказ натяжного устройства (например, недостаточное натяжение или блокировка натяжного устройства),
- потеря позиционирования судном (например, отказ системы динамического позиционирования или отказ якорной системы).

В случае установки/извлечения оборудования необходимо учитывать изменение длины узла райзера.

Воздействие сочетания нагрузок от окружающей среды для режима вывешивания райзера необходимо рассматривать для условий с 10-летним периодом повторяемости (или вероятностью события 10^{-1} в течение одного года) для фактических условий окружающей среды, если иное не определено заказчиком.

Перед ориентацией трубной головки и фиксацией соединителей должна быть определена масса устанавливаемого оборудования и максимальный угол для входа соединителей. Должны быть определены и зафиксированы в документации значения прикладываемого натяжения для проверки фиксации, в нормальном режиме работы и при аварийном отсоединении. Должно быть определено и зафиксировано максимально допустимое натяжение для извлечения прихваченной НКТ в комбинации с углами отклонения шарового шарнирного узла бурового райзера (см. таблицу 12).

Для операций фиксации, например модуля экстренного отсоединения, нижнего узла райзера и ПФА, может учитываться: допустимый угол фиксации, максимальная относительная скорость посадки и вес устанавливаемого оборудования.

Для операций отсоединения, например модуля экстренного отсоединения, нижнего узла райзера и ПФА, может учитываться: допустимый угол отсоединения в сочетании с избыточными натяжением и моментом для штатного и быстрого аварийного отсоединения.

Для судов с динамическим позиционированием должны быть установлены предельные допустимые значения сноса/увода судна и условия для аварийного закрытия скважины и отсоединения в случае недопустимого сноса/увода судна. Эти условия должны быть определены для обеспечения установки надежных барьерных элементов и безопасного отсоединения райзера З/РС до того, как будут превышены предельные значения (см. 5.5.5). Выполняемая оценка должна учитывать параметры сноса/увода судна (расстояние и скорость) и принятые превентивные меры (см. 4.13.2). Должно быть установлено общее время, необходимое для аварийного отсоединения, включая время выявления сноса/увода, время инициирования аварийного отсоединения и время выполнения аварийного отсоединения. Должен быть установлен радиус зоны допустимого смещения судна, при котором обеспечивается достаточное время для выполнения аварийного отсоединения райзера З/РС до превышения какого-либо критического ограничения.

Руководство по эксплуатации (см. 11.9) должно определять эксплуатационные ограничения райзера для соответствующих режимов эксплуатации.

Если фактические условия эксплуатации райзера близки к установленным граничным значениям, должно быть выполнено нормальное или плановое отсоединение райзера З/РС. После отсоединения райзер должен быть переведен в безопасное положение — вывешен или извлечен. Эксплуатационные условия системы райзера З/РС необходимо непрерывно контролировать для подтверждения соответствия режима эксплуатации установленным ограничениям. Процесс мониторинга условий окружающей среды должен включать получение достоверного и оперативного прогноза погодных условий.

6.3.4 Анализ напряжений

6.3.4.1 Общие положения

Общий анализ напряжений для системы райзера должен быть основан на общепризнанных методах статического и динамического анализа, дискретизации модели, сопротивлении материалов и параметрах нагрузок от окружающей среды. Анализ напряжений может включать аналитические расчеты, численное моделирование, физические испытания или комбинацию указанных методов.

При определении напряжений в системе райзера З/РС, возникающих вследствие перемещений, смещений секций райзера или внутренних сил и напряжений, необходимо учитывать:

a) пространственный и временной характер воздействий, включая:

- возможную нелинейность действия нагрузки,
- динамический характер реакции;

b) виды отказов, учитываемые в процессе проверки на различные сочетания нагрузок;

c) требования к точности в соответствии с этапом проектирования.

Функциональные нагрузки и некоторые особые нагрузки, как правило, можно рассматривать с использованием методов статического анализа. Для нагрузок от воздействия окружающей среды (волновые нагрузки) и некоторых особых нагрузок (ударные нагрузки) необходимо проведение динамического анализа. В дополнение к статическому и динамическому анализу для работ, выполняемых без водоотделяющей колонны, в общий анализ райзерной системы должны быть включены анализ периода собственных колебаний и формы колебаний. Основные рекомендации по общему анализу напряжений для системы райзера приведены в приложении В.

Примечание — Инерция и эффект демпфирования имеют значение, когда частота установившейся нагрузки приближается к частоте собственных колебаний или в случаях неустановившихся нагрузок.

Анализ напряжений должен быть выполнен для всех рассматриваемых рабочих режимов райзера и вариантов сборки его элементов для проверки возможных видов отказов компонентов райзера, с целью определения ограничений для режимов эксплуатации и данных для сопряжений райзера.

Расчет конструкции райзера следует выполнять для линейно-упругого поведения материала. Если выполняют анализ для пластического или упругопластического поведения материала райзерных систем З/РС, подвергающихся циклическим нагрузкам, например волновым нагрузкам, должна быть проведена специальная проверка для подтверждения, что колебания райзерной системы не приведут

к образованию избыточных пластических деформаций или к разрушению в результате повторяющихся деформаций.

Примечание — В случаях проведения общего анализа райзерной системы с принятыми линейно-упругими характеристиками материала и коэффициентами использования, установленными в настоящем стандарте, оценка пластических деформаций для сечений труб при циклическом нагружении может быть проведена без дополнительных уточнений.

Неопределенности в анализируемой модели следует учитывать посредством задания значений коэффициентов использования. При наличии существенной неопределенности для определяемых значений должны быть приняты консервативные допущения.

Если аналитические модели содержат значительные неопределенности, то должна быть проведена оценка чувствительности моделей и параметров, используемых в моделях.

Примечание — Основной целью анализа чувствительности является количественная оценка неопределенности модели, обоснование рациональных консервативных допущений и выявление зон, где необходимы более детальные исследования для достижения приемлемого результата моделирования (например, уточнение компьютерной модели на основе результатов физических испытаний). Параметры, подлежащие анализу, включают период волн, профиль течения, значение верхнего натяжения и характеристики жесткости пружин натяжного устройства, угол наклона и высоту устья скважины, длину собранного узла, жесткость гладкого соединения, уровень гладкого соединения относительно пола буровой установки, значение смещения судна, конструктивное демпфирование, вес в погруженном состоянии и плотность флюида внутри райзера.

Общий анализ райзерной системы следует выполнять для оптимизации верхнего натяжения с целью улучшения характеристик райзера в отношении комбинированных напряжений.

Примечание — Для условий применения, при которых якорные оттяжки и райзер оказывают существенное влияние на колебания судна, может быть выполнен их совместный анализ.

6.3.4.2 Моделирование

6.3.4.2.1 Модель конструкции райзера

Модель системы райзера должна описывать систему райзера в целом, включая параметры жесткости, массу, параметры демпфирования и гидродинамические нагрузки по длине колонны райзера с учетом расположенного на поверхности и под водой оборудования и граничных условий. В частности, для выбранного метода моделирования необходимо применять соответствующие коэффициенты сопротивления и инерции.

Примечание — Учет расположенного на поверхности оборудования и граничных условий, как правило, реализуется посредством моделирования штропов, натяжной рамы, лебедки, гладкого соединения, контакта с полом буровой установки (ротор/спайдер), устройства натяжения и определения RAO колебаний судна. Для подводного оборудования и граничных условий, как правило, выполняют моделирование усиленной секции и подводного устьевого оборудования, включая жесткость устьевой обвязки скважины/грунта, если применимо.

Моделирование райзеров, имеющих вертикальное натяжение, следует осуществлять с учетом натяжения, действующего на натяжное кольцо через натяжную секцию и на верхнюю часть райзера (компенсатор вертикальной качки), и соответствующих характеристик жесткости.

Модель райзера должна быть разбита на достаточное число элементов для учета воздействия нагрузок от окружающей среды, напряжений в элементах конструкции и анализа напряжений во всех критичных зонах.

Расчеты напряжений следует выполнять с применением номинальных характеристик поперечного сечения и номинальных физических свойств.

6.3.4.2.2 Гидродинамические нагрузки

Должен быть выполнен анализ максимально допустимых условий эксплуатации с использованием сочетаний максимальной амплитуды волн и их направлений, действия течений и движений судна, с определением наиболее вероятного максимального воздействия гидродинамических нагрузок.

В случаях, когда определена только высота волны, рассматриваемый диапазон периода волн может быть определен в границах 90 %-ного доверительного интервала диаграммы повторяемости волн.

Для определения методов моделирования с учетом фактической глубины воды и описания кинематики волн на поверхности и в толще воды необходимо использовать теорию волн и кинематическую схему.

При определении гидродинамических нагрузок должны быть установлены используемые в расчетах относительная скорость частиц жидкости и значения ускорения с учетом воздействия волн, течения и колебаний райзера.

Примечания

1 Гидродинамические нагрузки на гибкие конструкции, такие как райзеры З/РС, можно выражать уравнением Моррисона в части, касающейся скорости и ускорения жидкости относительно конструкции.

2 Выбор подходящей теории волн зависит от фактических условий и связан с допущениями, принятыми в отношении RAO колебаний судна. Как правило, линейная волновая теория, например теория Эйри в комбинации с натяжением Уиллера, может быть использована в дополнение к распределенной кинематической схеме, если применимо. Для частей райзера, расположенных ниже зоны заплеска, линейная волновая теория, как правило, адекватна нерегулярным состояниям моря. При этом следует отметить, что распределенная кинематическая схема, например для полупогружных платформ, может влиять на движение воды вблизи платформы.

Временная и/или частотная дискретизация должна быть верифицирована для подтверждения достижения необходимой точности.

Возможное влияние прилегающих частей конструкции должно быть принято во внимание при определении нагрузок от волн и течений. Увеличение ускорения и скорости в потоке вокруг цилиндра, например опор платформы, может вызвать дополнительные нагрузки на райзер.

Должны быть учтены возможные нагрузки от вихревого потока. Для поперечных вибраций от вихревого потока необходимо учитывать повышение коэффициента лобового сопротивления. Должно быть проанализировано воздействие устройств подавления вибраций от вихревого потока, если они включены в райзерную систему.

6.3.4.3 Анализ напряжений от экстремальных нагрузок

Статический анализ следует выполнять с использованием нелинейного подхода. В последующем динамическом анализе для определения воздействия гидродинамических нагрузок следует применять указанные ниже методы, отдельно или в сочетании:

a) анализ нерегулярных волн во временной области (расчетный шторм);

b) анализ регулярных волн во временной области (расчетная волна);

c) анализ нерегулярных волн в частотной области.

Анализ нерегулярных волн подразумевает моделирование кинематики воды и перемещений судна. Анализ напряжений от экстремальных нагрузок рекомендуется выполнять с использованием анализа во временной области. Тем не менее, анализ в частотной области может быть использован, если его применимость документально подтверждена в процессе валидации относительно анализа во временной области.

Должно быть документально подтверждено, что продолжительность анализа в нерегулярном временном интервале достаточна для оценки возникающих напряжений с надлежащей статистической достоверностью.

Любое использование упрощенного моделирования и/или методов анализа должно быть подтверждено более совершенным моделированием и/или анализом (см. таблицу 9). В частности, валидация, как определено в 6.3.4.6, должна быть рассмотрена для репрезентативных (критических) вариантов нагрузок.

Таблица 9 — Методы валидации методов анализа

Применяемый метод	Метод валидации
Линеаризованный анализ во временной области	Нелинейный анализ во временной области
Анализ в частотной области	Анализ во временной области
Анализ регулярных волн	Анализ нерегулярных волн

Для определения наиболее неблагоприятных условий нагружения в процессе анализа как регулярных, так и нерегулярных волн необходимо использовать изменение периода волны. Это имеет особое значение для анализа регулярных волн, результаты которого могут подвергаться серьезным искажениям для систем, чувствительных к динамическим воздействиям. Должны быть проанализированы как минимум три различных периода, относящихся к реальному диапазону изменений (например, 90 % доверительного интервала диаграммы повторяемости волн). Изменение периода должно быть выполнено с учетом:

a) статистических данных об изменении периода волны;

b) собственной частоты колебаний системы райзера;

c) пиковых значений функции передачи колебаний судна;

d) пикового периода волны из диаграммы повторяемости волн.

Примечание — Максимальные напряжения от волновых нагрузок не всегда связаны с прохождением расчетной волны (при максимальной высоте волны). Максимальные волновые нагрузки могут возникать от воздействия волн определенной длины, периода или крутизны.

6.3.4.4 Анализ напряжений от циклических нагрузок

При выполнении расчета на усталость системы райзера должны быть учтены напряжения от всех имеющих место циклических нагрузок, включая:

a) колебания от воздействия волн первого порядка (непосредственное воздействие волн и связанные с ним перемещения судна);

b) перемещения судна второго порядка или колебания, вызванные воздействием судна (псевдоустановившиеся циклические смещения);

c) вибрации, вызванные вихреобразованием;

d) циклы напряжений, вызванные изменениями температуры и давления.

Напряжения от циклической нагрузки, вызванной волной первого порядка или перемещениями судна второго порядка, могут быть определены с использованием методов, описанных в 6.3.4.3 применительно к расчету напряжений от экстремальных нагрузок. Если используют анализ в частотной области или анализ регулярных волн, следует выполнить валидацию расчетов посредством анализа нерегулярных волн и анализа во временной области. Расчет количества полных циклов, например методом дождевого потока, следует использовать для анализа усталости в нерегулярной временной области.

При расчете усталостной долговечности следует учитывать изменения напряжений в стенке трубы или стенке компонента на протяжении срока эксплуатации райзерной системы, в процессе спуска, эксплуатации и нахождения в подвешенном состоянии. Общий расчет на усталость может быть основан на номинальном значении толщины стенки, а усталостные напряжения — на среднем репрезентативном значении толщины станки, т. е. номинальной толщине стенки за вычетом половины припуска на коррозию.

При проведении анализа на усталость следует учитывать характеристики состояния моря, определяемые эксплуатационными ограничениями для различных видов работ.

Более детально вопросы анализа на усталость рассмотрены в приложении С, напряжения, которые подлежат рассмотрению при анализе на усталость, приведены в таблице С.2.

Примечание — Усталость, вызванная волной первого порядка при нормальных условиях эксплуатации в режиме без водоотделяющей колонны, как правило, является определяющей, тем не менее, усталостные повреждения, накопленные за время нахождения райзера в отсоединенном состоянии или подвешенном положении, могут быть значительными.

6.3.4.5 Режим работы при размещении внутри бурового райзера

Если райзер З/РС размещается внутри бурового райзера, анализ его состояния можно выполнять в квазистатической нелинейной постановке. В процессе анализа райзера З/РС необходимо учитывать собственный вес, действие верхнего натяжения, вес флюидов, НКТ, трубной головки, воздействие давления и температуры содержимого З/РС и бурового райзера, значения углов верхнего и нижнего шарового/гибкого соединений и отклонения положения бурового райзера.

Минимальные углы верхнего и нижнего шарового/гибкого соединений могут быть рассчитаны при отдельном анализе бурового райзера или могут быть использованы значения, приведенные в 6.4.11.4.

Напряжения от экстремальных нагрузок и усталостное повреждение должны быть определены для критических участков вдоль колонны райзера.

6.3.4.6 Валидация модели

Должна быть выполнена проверка используемых в процессе анализа моделей на наличие ошибок. Акцент должен быть сделан на корректном вводе в используемые компьютерные программы функций, описывающих движение судна в заданных сценарных условиях.

При верификации перемещений судна можно использовать анимацию, отображающую перемещения судна, движение волн и райзера.

Должны быть выполнены следующие аналитические проверки модели райзера:

a) верификация фактического статического распределения натяжения, включая верхнее и нижнее натяжение;

b) рассчитанные периоды и формы собственных колебаний.

Примечания

1 Аналитический расчет эффективного статического натяжения является формой верификации массы райзера, плавучести и моделирования натяжения в системе.

2 Верификация периодов и формы собственных колебаний райзеров с верхним натяжением может быть выполнена посредством аналитических расчетов. Приближенные решения дают в виде аналитических выражений для натянутых балок (см. *[6]*).

6.4 Критерии проектирования компонентов

6.4.1 Область применения

Общие требования к проектированию применимы ко всем компонентам, входящим в область применения настоящего стандарта, включая соединители и болты, рассматриваемые в 6.4. Требования к проектированию компонентов, которые рассматриваются другими применимыми нормативами и стандартами (см. таблицу 2), не входят в область действия настоящего стандарта.

Требования к проектированию специальных компонентов райзера включены в отдельные подразделы настоящего стандарта. В случае наличия несоответствий между требованиями 6.4 и требованиями, приведенными в подразделах для отдельных компонентов, должны применяться специальные требования, предъявляемые к отдельным компонентам.

6.4.2 Виды отказов

Должно быть показано, что система райзера S/RC обладает требуемой надежностью конструкции применительно к рассматриваемым видам отказов. Как минимум, компоненты райзера должны быть рассчитаны на предупреждение следующих возможных видов отказов (с учетом применимости для конкретного случая):

a) избыточная пластическая деформация;

b) потеря устойчивости;

c) усталость;

d) хрупкое разрушение;

e) избыточный изгиб;

f) потеря герметичности;

g) коррозия и износ;

h) непреднамеренное разъединение;

i) потеря механической функции.

Требования к проектированию с учетом коррозии и износа приведены в 6.4.4 и разделе 7.

Требования, приведенные в 6.4, предназначены для труб из материала, отвечающего общим требованиям раздела 7 и, в частности, требованиям к растяжению, приведенным в 7.2.9.

6.4.3 Выбор материалов

Материалы, выбираемые для систем райзера S/RC, должны быть пригодны для использования в течение проектного срока службы, если не предусматривается замена этих систем. Особое внимание должно быть уделено действию жидкостей снаружи и внутри райзера, нагрузкам, температурным воздействиям и возможным видам отказов на всех этапах жизненного цикла, включая эксплуатацию, изготовление и испытания. При выборе материалов необходимо обеспечить совместимость всех компонентов райзерной системы.

Свойства материалов должны соответствовать условиям, имеющим место на всех этапах изготовления, испытаний, эксплуатации и хранения, материалы должны обладать достаточной прочностью, пластичностью и ударной вязкостью (см. 7.2.9). Кроме того, материалы, используемые в системе райзера S/RC, должны проходить проверку на наличие наружных и внутренних дефектов с оценкой их влияния на эксплуатационные свойства системы райзера.

Риск контакта со средой, содержащей сероводород, должен быть оценен для всех частей райзера S/RC, которые во время эксплуатации могут контактировать с пластовыми флюидами (см. 7.2.4).

6.4.4 Припуск на коррозию

Под термином «коррозия» в настоящем стандарте понимают непосредственно коррозию, окисление, отслоение, абразивный износ, эрозию, износ и другие формы потери металла. Поставщик райзера должен учитывать воздействие, которое может оказывать коррозия (как внутренняя, так и внешняя) на срок эксплуатации компонента (см. 7.2.13). В случае наличия неопределенности должны быть проведены коррозионные испытания.

Во всех случаях, когда в результате внешней или внутренней коррозии возможно уменьшение толщины стенки, проектом должны быть предусмотрены компенсирующие меры в течение проектного срока эксплуатации и хранения компонента за счет надлежащего увеличения толщины основного металла сверх значений, определенных расчетными формулами или анализом напряжений.

Количественная оценка необходимого увеличения толщины стенки (например, припуск на коррозию) должна учитывать свойства материала, внутренней и внешней среды, внутренних и внешних покрытий, периодичность контроля и процедуры консервации (см. 7.2.13).

Минимальный припуск на коррозию должен быть документально оформлен в проекте или указан заказчиком.

Примечание — Минимальный припуск на коррозию не обеспечивает защиту от рисков сквозной коррозии или коррозионного растрескивания под напряжением. В таких случаях целесообразными средствами являются замена материала, плакирование и т. д.

6.4.5 Толщина

Если не установлено иное, все проектные расчеты должны быть выполнены для соответствующих размеров (толщина, диаметр и т. п.) в условиях коррозионного воздействия.

Возможный эффект упрочнения от применения покрытия или плакирования трубы не должен быть принят во внимание в расчетах, кроме случаев, когда указанный эффект документально подтвержден.

6.4.6 Свойства материала

При проектировании предел текучести σ_y, МПа, и предел прочности на растяжение σ_u, МПа, определяют по формулам:

$$\sigma_y = \phi_{A5} \cdot R_{t0,5/T} = \phi_{A5} \cdot Y_y \cdot R_{t0,5}, \quad (4)$$

$$\sigma_u = \phi_{A5} \cdot R_{m/T} = \phi_{A5} \cdot Y_u \cdot R_m, \quad (5)$$

где ϕ_{A5} — коэффициент снижения пластичности [см. формулу (6)];

$R_{t0,5/T}$ — заданное минимальное значение условного предела текучести при 0,5 % остаточной деформации при расчетной/заданной температуре, МПа;

$R_{t0,5}$ — заданное минимальное значение предела текучести при 0,5 % остаточной деформации при комнатной температуре, МПа;

Y_y — коэффициент уменьшения предела текучести при повышенной температуре;

$R_{m/T}$ — заданное минимальное значение предела прочности на растяжение при заданной температуре, МПа;

Y_u — коэффициент уменьшения предела прочности на растяжение при повышенной температуре;

R_m — заданное минимальное значение предела прочности на растяжение при комнатной температуре, МПа.

Примечание — Общее относительное удлинение 0,5 %, используемое для определения минимального значения предела текучести, действительно для предела текучести до 655 МПа. Значение 0,6 % применяют для минимального заданного значения предела текучести до 758 МПа.

Коэффициент снижения пластичности ϕ_{A5} можно применять для материалов, не отвечающих требованиям пластичности, приведенным в 7.2.9. Коэффициент снижения пластичности принимают равным 1,0 в случае, когда минимальное относительное удлинение после разрыва A_5 равно или превышает 14 %, а для $A_5 < 14$ % коэффициент снижения пластичности рассчитывают по формуле

$$\phi A_5 = \frac{1,5}{2 - \sqrt{\frac{A_5}{56}}}. \quad (6)$$

Если σ_y больше, чем 0,92 · σ_u, то в выражении (4) используют значение 0,92 · σ_u вместо σ_y (см. 7.2.9).

Для марганцево-углеродистых сталей и низколегированных сталей значение, указанное для 20 °С, можно использовать для температур, не превышающих 50 °С. Для марганцево-углеродистых сталей и низколегированных сталей при температурах свыше 50 °С в качестве исходных данных для проектирования должно быть определено изменение свойств материала при расчетной температуре.

При отсутствии данных о свойствах материала при повышенных температурах значения предела текучести и прочность на растяжение могут быть уменьшены в соответствии с таблицей 10.

Таблица 10 — Поправочные коэффициенты для марганцево-углеродистых и низколегированных сталей при повышенных температурах

Поправочный температурный коэффициент	Температура, °С				
	Температура внутри помещения	66	82	121	180
Y_y	1,00	0,99	0,97	0,91	0,85
Y_u	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Для углеродистых и низколегированных сталей при температурах до 120 °С можно использовать следующие значения физических свойств:

a) модуль упругости E = 205 000 МПа;

b) коэффициент Пуассона ν = 0,3;

c) температурный коэффициент линейного расширения $\alpha_L = 12 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$.

Значения предела прочности на растяжение и предела текучести должны соответствовать итоговому состоянию материала при производстве. Необходимо принимать во внимание любые изменения прочности и влияние температуры на прочность при растяжении и сжатии материала. Если материал конструкции или металл сварного шва после изготовления имеет более низкие значения прочности и ударной вязкости, в расчетах должны быть использованы фактические значения (см. 7.2.14 и 7.2.16).

6.4.7 Избыточная пластическая деформация

Для компонентов, в которых возникновение избыточной пластической деформации является возможным видом отказа, должны быть проведены исследования на устойчивость к пластической деформации (см. 6.2.4).

Расчетная несущая способность компонентов, работающих под давлением, включая болты, должна быть определена исходя из свойств материала, как определено в 6.4.6, и значений коэффициента использования F_d, приведенных в таблице 11. Устойчивость к избыточным пластическим деформациям должна быть достигнута одним из методов, приведенных в приложении D.

Таблица 11 — Значение коэффициентов использования F_d

Режим нагрузки	F_d	Исходные параметры для расчета вида отказа
Сборка (крепление болтами или свинчивание) и разборка (развинчивание)	0,90	Фактические расчетные значения при температуре сборки/разборки
Гидростатические испытания в процессе заводских приемочных и приемо-сдаточных испытаний	0,90	Фактические расчетные значения при температуре испытаний, температура флюида (гидростатические условия)
Нормальная эксплуатация	0,67	Значение толщины стенки в условиях коррозии при расчетной температуре металла
Эксплуатация в экстремальных условиях	0,80	Значение толщины стенки в условиях коррозии при расчетной температуре металла
Испытание системы под давлением (эксплуатационные испытания)	0,67	Значение толщины стенки в условиях коррозии при температуре испытаний
Кратковременные работы	0,80	Значение толщины стенки в условиях коррозии при фактической температуре металла
Особый режим (сохранение работоспособности)	1,00	Значение толщины в условиях коррозии при фактической температуре металла

Для циклических тепловых нагрузок в сочетании с постоянными нагрузками следует учитывать возможность ретчетинга (накопления деформации), т. е. механизма накопленного разрушения.

Особые условия, такие как риск коррозионного растрескивания под напряжением, водородного растрескивания и т. д., могут потребовать применения более низких значений коэффициентов использования.

6.4.8 Продольный изгиб

Возможность возникновения продольного изгиба должна быть учтена для деталей, работающих в условиях сжатия, или компонентов, в которых присутствуют зоны сжимающих напряжений.

Пример — Локальный изгиб стенки трубы и изгиб трубы как сжатого стержня.

Анализ необходимо проводить для наиболее неблагоприятного типа изгиба. Необходимо учитывать наличие отклонений и остаточных напряжений. Необходимо подтвердить соответствие между принимаемыми в расчетах сопротивления потере устойчивости отклонениями и допусками при изготовлении.

Компоненты следует проектировать в соответствии с положениями общепризнанных стандартов, например *[7]*. В случаях, когда анализ в области пластичности выполняют с использованием теории наибольших деформаций (см. D.2.4), при наличии испытаний (см. D.2.5), должны быть использованы коэффициенты использования, приведенные в 6.4.7.

Если потеря устойчивости по типу сжато-изогнутой балки неизбежна, должно быть документально подтверждено, что данное событие не приведет к возникновению отказа райзера или компонента.

Отрицательное эффективное натяжение райзера может привести к потере его устойчивости по типу сжатого стержня. Особое внимание должно быть уделено тому, что незначительное уменьшение верхнего натяжения может привести к возникновению существенных изгибающих моментов. В таких случаях следует определить запас устойчивости при избыточном изгибающем моменте, вызванном минимальным натяжением. Элементы, расположенные выше натяжной секции райзера с верхним натяжением, в некоторых конфигурациях райзера могут подвергаться воздействию сжимающих нагрузок.

6.4.9 Усталость и контроль усталости

В настоящем стандарте требования к анализу на усталость установлены на основе испытаний на усталость и механики разрушения. Практические детали расчетов с учетом усталости приведены в приложении С.

Цель проектирования с учетом усталости состоит в обеспечении достаточной усталостной долговечности райзера З/РС. Результаты расчета усталостной долговечности могут служить основой для формирования программы по контролю усталостных трещин во время изготовления и в период эксплуатации райзера З/РС.

Необходимо учитывать напряжения от циклических нагрузок, возникающие на различных стадиях жизненного цикла и имеющие достаточные амплитуду и частоту для возникновения усталостных повреждений райзера (см. 6.3.4.4). Необходимо рассматривать все режимы работы, включая эксплуатацию без водоотделяющей колонны и режим работы с трубной головкой (внутри бурового райзера), а также временные режимы, такие как спуск и вывешивание. Как минимум, расчет на усталость должен быть выполнен для работы в присоединенном состоянии райзера для режимов без водоотделяющей колонны и работы с трубной головкой (эксплуатация внутри бурового райзера), там, где это применимо.

Райзер З/РС должен быть спроектирован таким образом, чтобы препятствовать возникновению резонансных вибраций, вызванных вихреобразованием. Для снижения интенсивности возникающей вибрации можно применять устройства для подавления вихрей (более подробно см. *[8]*).

Должны быть идентифицированы участки, чувствительные к усталостным нагрузкам, и для каждого участка должен быть выполнен расчет на усталость. Особое внимание необходимо уделять болтам, сварным швам и концентраторам напряжений, в дополнение к местам с высокой шероховатостью поверхности и наличием поверхностных дефектов. Если присутствует существенный риск усталостного разрушения, следует изменить конструкцию для снижения риска путем изменения конфигурации райзера для снижения пиковых напряжений, например посредством снижения эксцентричности поперечных сварных швов, обеспечения гладких профилей, в особенности сварных швов, и использования материалов, менее подверженных усталостному разрушению.

Усталостная долговечность может быть рассчитана методами, основанными на анализе накопленных усталостных повреждений и/или анализе распространения усталостной трещины. При оценке усталостной долговечности, как правило, применяют методы, основанные на анализе накопленных усталостных повреждений, вследствие их простоты и эффективности. Анализ распространения усталостной трещины также можно применять для определения ограничений при выполнении неразрушающего контроля в процессе производства и планирования диагностики в процессе эксплуатации.

Если срок эксплуатации не указан заказчиком, то следует принимать срок не менее 5 лет. Необходимая минимальная расчетная усталостная долговечность должна быть определена исходя из предполагаемого срока эксплуатации и графика проведения обследований. Значение расчетной усталостной долговечности должно быть равно как минимум 3-кратному сроку службы для всех компонентов, подлежащих техническому контролю (*DF* = 3).

Для компонентов, обследование которых невозможно, расчетная усталостная долговечность должна быть равной как минимум десятикратному сроку службы (*DF* = 10). Компоненты райзера необходимо периодически подвергать диагностическому контролю на наличие усталостных трещин, за исключением компонентов, для которых расчетная усталостная долговечность равна как минимум десятикратному предполагаемому сроку службы. Периодичность контроля/периодичность замены не должна превышать одну десятую от расчетной усталостной долговечности.

6.4.10 Хрупкое разрушение

Компоненты райзера должны обладать достаточным сопротивлением хрупкому (неустойчивому) разрушению (см. 7.2.10). Требования безопасности относительно хрупкого разрушения, как правило, считают выполненными, если используемые материалы, качество изготовления и испытания соответствуют требованиям раздела 7 и 8.3.

6.4.11 Избыточный изгиб

6.4.11.1 Общие положения

При определении максимального значения изгиба райзера необходимо учитывать значение вертикального перемещения, взаимодействие райзеров и значения углов шаровых/гибких соединений.

6.4.11.2 Вертикальное перемещение

При проектировании системы райзера З/РС должна быть обеспечена возможность вертикальных перемещений для предотвращения повреждений компонентов райзера и оборудования. На ограничения вертикальных перемещений райзера, как правило, влияют следующие параметры:

a) диапазон хода компенсатора вертикальной качки буровой лебедки;

b) диапазон хода системы натяжения;

c) длина защитной секции гладкого соединения;

d) допустимый ход вниз расположенного на поверхности оборудования.

Примечание — Длина защиты от вертикальных смещений гладкого соединения и ход вниз расположенного на поверхности оборудования, как правило, являются определяющими параметрами для эксплуатационных ограничений.

Вертикальное перемещение, обусловленное действием течения, может быть уменьшено посредством увеличения верхнего натяжения. Эффект вертикальных перемещений райзера под действием течения наиболее выражен при применении райзера в глубоководных условиях, где для учета вертикальных перемещений следует учитывать фактические профили и скорости течения.

Необходимо учитывать усилие натяжения компенсатора вертикальной качки и натяжного устройства.

Расчеты перемещения вверх и вниз должны учитывать влияние окружающей среды, натяжение, действие внутреннего давления в вертикальном направлении, температуры, изменение уровня моря вследствие приливов и отливов, сгонно-нагонные колебания уровня моря, накат ветровых волн, допуски на подгонку длины и высоты собранных секций райзера, влияние провисания/натяжения райзера и осадки судна.

Влияние окружающей среды обуславливает статическое смещение и динамические перемещения райзера. Статическое смещение определяется воздействием нагрузки от течения и погружением райзера вследствие среднего смещения судна. Среднее смещение судна обусловлено действием постоянного ветра и сносом под действием средней волны. Воздействие волн приводит к возникновению относительного перемещения райзера и судна, т. е. к динамическим перемещениям.

Требования к допустимым вертикальным перемещениям следует определять на основании вышеуказанных воздействий с применением соответствующего коэффициента запаса.

Для значения хода вверх и вниз можно применять коэффициент запаса 10 %.

6.4.11.3 Механический контакт с другим оборудованием

Необходимо учитывать возможность механического взаимодействия райзера с другим оборудованием применительно ко всему проектному сроку эксплуатации райзера. При проектировании райзерной системы необходимо проводить анализ потенциального механического контакта с другими райзерами, якорными линиями, конструкциями буровой шахты, корпусом судна, морским дном, ограничителями

перемещения верхнего блока райзера, исключающими взаимодействие с другим оборудованием райзерной системы или судна (натяжная рама, ПИФА или гибкие перемычки), а также проводить анализ любых имеющихся механических ограничений, включая зазор между колонной для спуска и нижним гибким соединением, расстояние от подводного оборудования до морского дна в подвешенном состоянии. В процессе проектирования могут быть реализованы следующие два подхода:

- столкновения недопустимы;
- столкновения допустимы.

Исключение потенциальной возможности столкновений (никаких соударений или взаимного влияния) следует принимать в качестве цели, поскольку при взаимном механическом контакте возможно повреждение райзера или другой части системы. Для исключения возможности столкновений следует заложить обоснованный запас при определении минимально допустимых зазоров.

Если допускается возможность механического контакта (столкновения), следует определить возникающие ударные нагрузки и подтвердить обеспечение целостности конструкции. Для этого необходимо оценить частоту столкновений, места контакта, значение импульса силы при столкновении или относительную скорость перемещения райзера перед ударом. Отдельные локальные расчеты/анализ, как правило, необходимы для оценки возникающих в момент удара напряжений в компоненте трубы или райзера.

6.4.11.4 Углы отклонения гибкого/шарового соединения бурового райзера

Если не согласовано иное, максимально допустимые значения угла отклонения бурового райзера в гибком/шаровом соединении при нахождении в нем райзера З/РС должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 12.

Таблица 12 — Максимально допустимые значения угла отклонения шарового/гибкого соединения бурового райзера

Режим нагрузки	Максимально допустимое значение угла отклонения бурового райзера, град
Спуск и извлечение райзера З/РС[a]	±1,0
Нормальная эксплуатация	±3,0
Натяжение райзера при ликвидации прихвата труб	±2,0
[a] Угол должен обеспечивать прохождение трубной головки, инструмента для спуска трубной головки и колонны для спуска.	

6.4.11.5 Герметичность

Герметичный компонент должен соответствовать следующим критериям допуска при испытаниях внутренним давлением на возникновение утечки:

a) для испытаний на герметичность жидкостью: отсутствие видимых утечек на всем протяжении испытаний;

b) для испытаний на герметичность газом: отсутствие образования пузырьков на всем протяжении испытаний. Если утечка наблюдается, ее значение, измеренное при атмосферном давлении, должно быть менее $1 \cdot 10^{-3}$ см^3/с (3,6 см^3/ч) на всем протяжении испытания. Значение утечки не должно возрастать в процессе испытаний.

В качестве рабочей среды при проведении испытаний на герметичность может быть использована вода для испытаний жидкостью и азот для испытаний на герметичность для газа. Минимальная продолжительность испытаний на герметичность должна составлять 15 мин. Если не указано иное, испытания проводят при комнатной температуре.

Примечание — Объем утечки 0,9 см^3 за 15 мин соответствует $1 \cdot 10^{-3}$ см^3/с.

Компонент должен обеспечивать герметичность для газа в экстремальных условиях эксплуатации и герметичность для жидкости в условиях эксплуатации, связанных с действием особых нагрузок. Заказчик может установить более жесткие требования к герметичности, температуре и схеме проведения испытаний для применения в условиях высоких температур и наличия опасных флюидов.

Требования герметичности при действии внутреннего давления могут также применяться для герметичности в отношении воздействия внешней среды.

6.5 Критерии проектирования труб

6.5.1 Общие положения

В 6.5 приведены положения по расчету прочности (на разрыв, пластическую деформацию, смятие) прямых труб и труб с небольшой конусностью стенки трубы (например, конусных соединений). Расчет прочности труб должен включать:

a) расчет на воздействие эффективного внутреннего и внешнего давления;

b) расчет на сочетание нагрузок:

- эффективное внутреннее давление, эффективное натяжение и изгибающий момент;
- эффективное внешнее давление, эффективное натяжение и изгибающий момент.

Другие виды отказов, которые должны быть учтены при проектировании, приведены в 6.4. Пример расчета труб приведен в приложении Е. Теоретические основы для проектирования на внутреннее давление (разрыв) и эффективное внутреннее давление при сочетании нагрузок приведены в *[9]* и *[10]*.

Использование при проектировании свойств трубы райзера, рассчитанных в соответствии с выражениями, приведенными в 6.5, требует, чтобы соединители райзера обладали конструктивной надежностью, сопоставимой с параметрами трубы (см. 6.6).

6.5.2 Расчет давления

6.5.2.1 Общие положения

В 6.5.2 приведены требования к расчету минимально допустимой толщины стенки трубы с учетом действия внутреннего и внешнего давления.

Расчет с учетом действия давления, т. е. определение минимальной прочности на разрыв при воздействии внутреннего давления и минимального сопротивления потере устойчивости при изгибе (коллапс), должен быть выполнен на основе расчетного значения минимальной толщины стенки трубы t_1, мм:

a) для заводских приемочных/приемо-сдаточных испытаний давлением по формуле

$$t_1 = t_n - t_{fab}, \tag{7}$$

b) для условий при эксплуатации и комплексных испытаний системы давлением по формуле

$$t_1 = t_n - t_{fab} - t_{ca}, \tag{8}$$

где t_n — номинальная толщина стенки трубы, мм;

t_{fab} — абсолютное значение отрицательного допуска, определяемое техническими условиями/стандартом на материал, мм;

t_{ca} — припуск на коррозию, износ, эрозию, мм.

6.5.2.2 Расчет по внутреннему давлению (разрыв)

Минимальное давление, приводящее к разрыву трубы, должно превышать эффективное внутреннее давление во всех поперечных сечениях вдоль колонны райзера, как показано в выражении

$$\frac{(p_{int,d} - p_{o,\min})}{F_b \cdot p_{b,\min}} \le 1, \tag{9}$$

где $p_{int,d}$ — расчетное внутреннее давление, Па;

$p_{o,\min}$ — минимальное внешнее гидростатическое давление, Па;

F_b — коэффициент использования для расчета трубы на разрыв под действием внутреннего давления, приведенный в таблице 13;

$p_{b,\min}$ — минимальное давление разрыва трубы, Па, определяемое по формуле (10).

Как правило, при расчете по внутреннему давлению (разрыв) значение внутреннего расчетного давления и расчетной температуры принимают в соответствии с таблицами 7 и 8. Для гидростатических испытаний при комнатной температуре более детальная информация приведена в 8.3. Для учета изменения характеристик материала изменение давления испытания не требуется.

Минимальное значение внешнего гидростатического давления может быть принято равным нулю.

Таблица 13 — Коэффициент использования для расчета трубы на разрыв под действием внутреннего давления F_b

Внутреннее расчетное давление	Давление гидростатического испытания
0,60	0,90

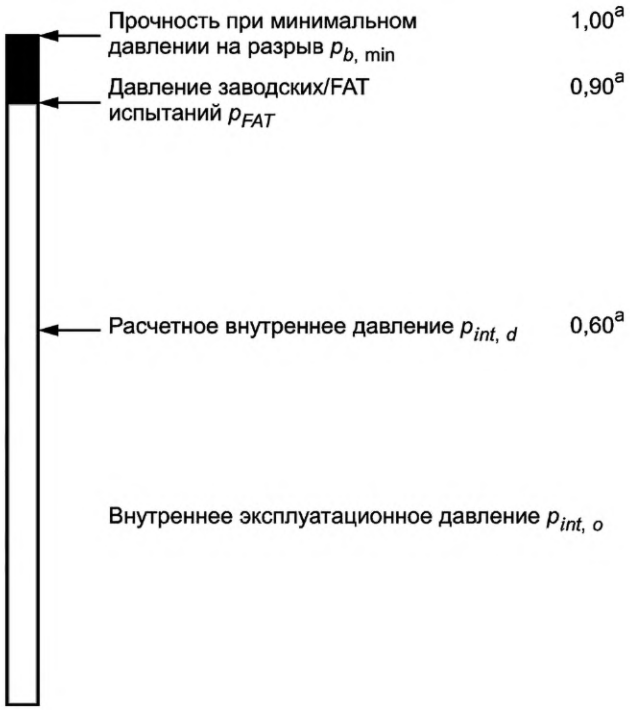
Минимальное давление разрыва трубы $p_{b,\min}$, Па, определяют по формуле

$$p_{b,\min} = 1{,}1 \cdot (\sigma_y + \sigma_u) \cdot \frac{t_1}{D_o - t_1}, \quad (10)$$

где σ_y — расчетный предел текучести (см. 6.4.6), Па;
σ_u — расчетный предел прочности на растяжение (см. 6.4.6), Па;
t_1 — минимальная толщина стенки трубы, определяемая в соответствии с 6.5.2.1, м;
D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м.

Примечание — Рассматриваемый вид отказа представляет собой пластическое разрушение стенки трубы под действием эффективного внутреннего давления, также известное как «вязкое разрушение трубы». Критерии разрыва основаны на значении прочности на разрыв для труб с закрытыми (заглушенными) концами.

Соотношения уровней давления показаны на рисунке 10.



[a] Максимальная доля $p_{b,\min}$.

Давление, Па	Наименование	Доля от $p_{b,\min}$
$p_{b,\min}$	Минимальное давление разрыва трубы	1,00
p_{FAT}	Давление заводских гидростатических приемо-сдаточных испытаний	0,90
$p_{int,d}$	Расчетное внутреннее давление	0,60
$p_{int,o}$	Внутреннее эксплуатационное давление	0,60

Рисунок 10 — Соотношения уровней давления

6.5.2.3 Расчет на потерю устойчивости от внешнего давления (кольцевой коллапс)

Давление потери устойчивости (смятия) трубы должно превышать эффективное внешнее давление во всех поперечных сечениях вдоль колонны райзера в соответствии с формулой

$$\frac{(p_{od} - p_{int,min})}{F_{hb} \cdot p_{c,min}} \leq 1, \quad (11)$$

где p_{od} — расчетное внешнее давление, Па;

$p_{int,min}$ — минимальное внутреннее гидростатическое давление, Па;

F_{hb} — коэффициент использования для трубы, учитывающий окружную потерю устойчивости (смятие), приведенный в таблице 14;

$p_{c,min}$ — минимальное давление кольцевого коллапса трубы, Па.

Если труба райзера подвержена воздействию внутреннего давления, его значение должно быть учтено, поскольку внутреннее давление может поддерживаться постоянным, в противном случае необходимо использовать нулевое значение внутреннего давления или давление вакуума (минус 0,1 МПа).

Примечание — Райзер З/РС может подвергаться воздействию значительного внешнего давления при работе внутри бурового райзера (см. 6.3.2.2).

Внешнее давление гидростатического испытания может быть определено, как показано в I.7. Пробное давление, как правило, не является определяющим для выбора толщины стенки.

Таблица 14 — Коэффициент использования для трубы, учитывающий окружную потерю устойчивости (смятие) F_{hb}

Технология изготовления трубы	Расчетное внешнее давление	Давление гидростатического испытания
Бесшовная труба	0,67	0,80

Минимальное давление потери устойчивости (кольцевого коллапса) $p_{c,min}$, Па, определяют по формуле

$$(p_{c,min} - p_{el,min}) \cdot (p_{c,min}^2 - p_{p,min}^2) = p_{c,min} \cdot p_{el,min} \cdot p_{p,min} \cdot 2 \cdot f_0 \cdot \frac{D_o}{t_1}, \quad (12)$$

где $p_{el,min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях, Па;

$p_{p,min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при пластических деформациях, Па;

f_0 — начальная овальность;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t_1 — минимальная толщина стенки трубы, м, определяемая в соответствии с 4.5.2.1.

Минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях определяют по формуле

$$p_{el,min} = \frac{2 \cdot E \cdot \left(\frac{t_1}{D_o - t_1}\right)^3}{1 - \nu^2}, \quad (13)$$

где E — модуль Юнга, Н/м^2;

ν — коэффициент Пуассона, в единицах относительной деформации.

Минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при пластических деформациях $p_{p,min}$, Па, определяют по формуле

$$p_{p,min} = 2 \cdot \sigma_y \cdot \frac{t_1}{D_o}, \quad (14)$$

где использованные переменные соответствуют переменным в выражениях (12) и (13).

Начальную овальность f_0 определяют по формуле

$$f_0 = \frac{D_{o,max} - D_{o,min}}{D_{o,max} + D_{o,min}}, \quad (15)$$

где $D_{o,max}$ — максимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении, мм;

$D_{o,min}$ — минимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении, мм.

Значение начальной овальности f_0 не должно приниматься менее 0,0025 (0,25 %). Значение максимальной начальной овальности не может быть больше, чем 0,015 (1,5 %). Овальность, возникающая при изготовлении трубы, должна быть включена в значение начальной овальности. Пример расчета по формуле (12) приведен в приложении Е.

Для глубоководных условий значение начальной овальности следует принимать не выше 0,005 (0,5 %).

Для проведения расчетов в качестве значения внешнего давления принимают максимальное из значений давления в условиях эксплуатации и при проведении испытаний.

Рассматриваемый характер разрушения относится к окружной потере устойчивости (кольцевого коллапса) под действием внешнего гидростатического давления. Давление окружной потери устойчивости, полученное в выражении (12), следует сравнивать с гидростатическим давлением при заданной глубине воды для подтверждения корректности выбора толщины стенки для соответствующего диапазона глубин, внешнего давления для концентрических труб и т. д. Расчетная формула (12) основана на сопротивлении окружной потере устойчивости труб с открытыми концами.

6.5.3 Расчет для сочетания нагрузок

6.5.3.1 Общие положения

Толщину стенки трубы, используемую в процессе контроля напряжений от действия сочетания нагрузок, необходимо принимать равной номинальному значению толщины стенки за вычетом припуска на коррозию по формуле

$$t_2 = t_n - t_{ca}, \tag{16}$$

где t_2 — толщина стенки трубы без припуска на коррозию, мм;

t_n — номинальная толщина стенки трубы, мм;

t_{ca} — припуск на коррозию, износ, эрозию, мм.

Примечание — В случае, когда расчет напряжений основывается на моделях анализа системы райзера с линейно-упругими свойствами материала в сочетании с сопротивлениями, приведенными в настоящем стандарте, результат оценки пластических деформаций может быть принят без дополнительных проверок по критериям прочности трубы.

6.5.3.2 Внутреннее избыточное давление

Элементы труб, подверженные действию эквивалентной продольной силы (натяжения), изгибающего момента и внутреннего избыточного давления, должны быть рассчитаны так, чтобы удовлетворять во всех поперечных сечениях следующему условию:

$$\left(\frac{T_e}{F_d \cdot T_{pc}}\right)^2 + \frac{|M_{bm}|}{F_d \cdot M_{pc}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p_{int} - p_o}{F_d \cdot p_b}\right)^2} + \left(\frac{p_{int} - p_o}{F_d \cdot p_b}\right)^2 \le 1 \tag{17}$$

при $p_{int} \ge p_o$,

где T_e — эффективное натяжение, Н;

T_{pc} — продольная сила при пластическом растяжении, Н;

F_d — коэффициент использования, значение которого приведено в таблице 11;

M_{bm} — изгибающий момент в трубе, Н·м;

M_{pc} — пластический момент сопротивления трубы, Н·м;

p_{int} — внутреннее давление в заданной точке, Па;

p_o — внешнее давление в заданной точке, Па;

p_b — давление разрыва трубы, Па.

Прочностные характеристики трубы определяют по формулам (18), (19) и (20).

$$M_{pc} = \alpha_{bm} \cdot \sigma_y \cdot Z = \alpha_{bm} \cdot \sigma_y \cdot \frac{1}{6}[D_o^3 - (D_o - 2 \cdot t_2)^3], \tag{18}$$

где α_{bm} — параметр гибкости поперечного сечения трубы;

Z — пластический момент сопротивления сечения трубы, м^3;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t_2 — толщина стенки трубы без припуска на коррозию, м (см. 6.5.3.1).

$$T_{pc} = \sigma_y \cdot A_c = \sigma_y \cdot \pi \cdot (D_o - t_2) \cdot t_2, \quad (19)$$

где A_c — площадь поперечного сечения трубы, м^2;

σ_y — расчетный предел текучести, Па, определяемый в соответствии с 6.4.6.

$$p_b = 1{,}1 \cdot (\sigma_y + \sigma_u) \cdot \frac{t_2}{D_o - t_2}, \quad (20)$$

где σ_u — расчетный предел прочности на растяжение, Па, определяемый в соответствии с 6.4.6.

Значение параметра гибкости поперечного сечения трубы α_{bm} определяют по формулам:

$$\alpha_{bm} = 1{,}00 \quad \text{для } \frac{\sigma_y \cdot D_o}{E \cdot t_2} \le 0{,}0517, \quad (21)$$

$$\alpha_{bm} = 1{,}13 - 2{,}58 \cdot \left(\frac{\sigma_y \cdot D_o}{E \cdot t_2} \right) \quad \text{для } 0{,}0517 < \frac{\sigma_y \cdot D_o}{E \cdot t_2} \le 0{,}1034, \quad (22)$$

$$\alpha_{bm} = 0{,}94 - 0{,}76 \cdot \left(\frac{\sigma_y \cdot D_o}{E \cdot t_2} \right) \quad \text{для } 0{,}1034 < \frac{\sigma_y \cdot D_o}{E \cdot t_2} \le 0{,}170. \quad (23)$$

Эффективное натяжение трубы T_e, Н, определяемое по формуле (24) [осевое усилие растяжения положительное (см. В.3.2.1)].

$$T_e = T_w - p_{int} \cdot A_{int} + p_o \cdot A_o, \quad (24)$$

где T_w — истинное натяжение, Н (т. е. результирующее осевое натяжение, определяемое интегрированием осевых натяжений в поперечном сечении);

A_{int} — площадь внутреннего поперечного сечения трубы, м^2, которая может быть заполнена флюидом;

A_o — площадь поперечного сечения трубы по наружному диаметру, м^2, определяющая плавучесть при погружении.

Примечания

1 Вид отказа, контролируемый при проектировании с помощью формулы (24), включает избыточную пластическую деформацию и локальную потерю устойчивости трубы на сжимаемой стороне (местное образование гофр) в результате действия эффективного одноосного растяжения, изгибающего момента и внутреннего избыточного давления.

2 Критерием расчета является критерий Мизеса в отношении поперечных сил и сопротивления поперечного сечения пластической деформации.

3 При консервативной оценке внешнее давление p_o принимают равным нулю.

6.5.3.3 Внешнее избыточное давление

Элементы труб, подверженные действию эквивалентной продольной силы (натяжения), изгибающего момента (с контролируемой нагрузкой) и внешнего избыточного давления, должны быть рассчитаны так, чтобы удовлетворять условиям (25) и (26) во всех поперечных сечениях

$$\left[\left(\frac{T_e}{F_d \cdot T_{pc}} \right)^2 + \left(\frac{M_{bm}}{0{,}95 \cdot F_d \cdot M_{pc}} \right) \right]^2 + \left(\frac{p_o - p_{int}}{F_d \cdot p_c} \right)^2 \le 1 \quad p_{int} < p_o, \quad (25)$$

где T_e — эффективное натяжение трубы, Н;

T_{pc} — продольная сила при пластическом растяжении, Н, определяемая по формуле (19);

F_d — коэффициент использования, значение которого приведено в таблице 11;

M_{bm} — изгибающий момент в трубе, Н·м;

M_{pc} — пластический момент сопротивления трубы, Н·м, определяемый по формуле (18);

p_o — внешнее давление в заданной точке, Па;

p_{int} — внутреннее давление в заданной точке, Па;

p_c — давление потери устойчивости при изгибе (кольцевого коллапса), Па;

$$(p_c - p_{el}) \cdot (p_c^2 - p_p^2) = p_c \cdot p_{el} \cdot p_p \cdot 2 \cdot f_0 \cdot \frac{D_o}{t_2}, \quad (26)$$

$$p_{el} = \frac{2 \cdot E \cdot \left(\frac{t_2}{D_o - t_2}\right)^3}{1 - \nu^2}, \quad (27)$$

$$p_p = 2 \cdot \sigma_y \cdot \frac{t_2}{D_o}, \quad (28)$$

где p_{el} — давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях, Па;

p_p — давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса), при котором наступает пластическая деформация в поперечном сечении трубы, Па;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t_2 — толщина стенки трубы без припусков, м, определяемая в соответствии с 6.5.3.1;

ν — коэффициент Пуассона в единицах относительной деформации;

σ_y — расчетный предел текучести, Па, определяемый в соответствии с 6.4.6.

Значения коэффициентов использования приведены в таблице 11.

Примечания

1 При консервативном подходе к проверке внутреннее давление p_{int} принимают равным нулю.

2 Виды отказов, контролируемые при проектировании данным эмпирическим выражением, включают избыточную пластическую деформацию и комбинацию локальной потери устойчивости трубы на сжимаемой стороне (местное образование гофр) и коллапса поперечного сечения в результате комбинированного действия эффективного одноосного растяжения, изгибающего момента и внешнего избыточного давления.

6.6 Соединители

6.6.1 Общие положения

6.6.1.1 Назначение

В 6.6 приведены общие правила и принципы проектирования соединителей райзеров З/РС.

6.6.1.2 Общие правила

Целью расчетов является подтверждение, что соединители обладают достаточной конструктивной прочностью, герметичностью, сопротивлением усталости и функциональными характеристиками для соответствующих условий нагружения. Там, где применимо, должно быть учтено сопротивление особым нагрузкам, таким, как нагрузки при пожаре или столкновении.

Рекомендуется, чтобы соединители райзера имели конструктивный уровень безопасности, сопоставимый с уровнем безопасности соединяемой трубной секции или трубного элемента.

Соединители должны быть рассчитаны таким образом, чтобы была обеспечена плавная передача нагрузок без возникновения высоких локальных напряжений или избыточной деформации сопряженной трубы.

Материалы, используемые в соединителях и их компонентах, включая уплотнения и болтовые соединения, должны соответствовать требованиям, приведенным в разделе 7.

Критерии контроля усталости приведены в 6.4.9, а рекомендации по анализу усталости приведены в приложении С.

Все соединители райзерных систем З/РС должны быть квалифицированы для применения в конкретных условиях на основании сочетания результатов расчетов и проверочных испытаний (см. приложение J). Проверочные испытания в процессе квалификации соединителей одного типа, но разных размеров можно заменить расчетами (см. J.1.11).

Для определения характеристик узла соединения необходимо рассматривать уплотнения и соединители как единую систему, включая любые болты, в сочетании с силами предварительного натяжения и силами трения.

6.6.2 Нагрузки и режимы нагружения

При проектировании соединителей поставщиком райзера должны быть рассмотрены и документально подтверждены, как минимум, следующие параметры нагрузок и режимы нагружения:

a) нагрузки при свинчивании и развинчивании (например, натяжение и поворотный момент);

b) внутреннее и внешнее давление, включая пробное давление;

c) внешние нагрузки (например, изгибающие моменты и эффективные растяжения);

d) циклические (усталостные) нагрузки;

e) напряжения от температурных воздействий (из-за действия температуры на защемленные в соединителях флюиды/воду, металлы с различным температурным коэффициентом расширения) и режимы теплообмена.

Нагрузки от давления при рассоединении должны быть рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия в уплотнении (т. е. должна быть рассмотрена утечка по наибольшему диаметру дополнительного уплотнения).

Для соединителей, требующих предварительного нагружения (натяжения) соединительного элемента или болтов, необходимо учитывать следующее:

- должны быть рассмотрены максимальное и минимальное значения предварительного нагружения при сборке и возможность их уменьшения в процессе эксплуатации ниже допустимого значения из-за сочетания действия давления, температуры и внешних нагрузок в условиях минимального начального значения предварительного нагружения;
- минимальная допустимая нагрузка при сборке должна быть определена на основе оценки точности (разброса) методов создания предварительного нагружения и последующего уменьшения значения предварительного натяжения в краткосрочном и долгосрочном периоде.

При проектировании соединителей влияние внешнего давления на их прочность и герметичность необходимо рассматривать как для условий эксплуатации без водоотделяющей колонны, так и внутри бурового райзера.

Минимальное механическое предварительное нагружение должно быть достаточным для посадки уплотнительных колец/уплотнений и обеспечения герметичности при эксплуатации. Необходимо учитывать возможное влияние коррозии.

Анализ напряжений в соединителях должен быть проведен в рамках общего анализа райзерной системы с учетом воздействия на всех стадиях эксплуатации нагрузок от окружающей среды, эксплуатационных нагрузок и нагрузок от давления. Если к соединителям крепятся вспомогательные линии и модули плавучести, необходимо учитывать создаваемые ими нагрузки. При определении нагрузок в процессе вывешивания райзера необходимо учитывать действие временных нагрузок от инструментов или спайдера при перемещении или монтаже райзера.

6.6.3 Виды отказов

Конструкция соединителей райзера должна быть рассчитана на следующие возможные виды отказов (если применимо):

a) избыточная пластическая деформация (см. 6.4.7);

b) потеря герметичности (см. 6.4.11.5);

c) механическое разрушение (см. 7.2.1);

d) деформация и непреднамеренное разъединение, такое как срыв резьбы;

e) усталостное разрушение (см. 6.4.9);

f) образование задиров между контактирующими элементами;

g) снижение функциональных характеристик, например при многократном свинчивании и развинчивании, соединении/разъединении, взаимозаменах.

Относительное радиальное смещение в резьбовом соединении в результате сочетания действия давления, температуры и внешних нагрузок не должно превышать 10 % минимальной рабочей высоты профиля резьбы. Минимальная рабочая высота профиля резьбы должна быть определена с учетом суммарного допуска для наиболее неблагоприятного сочетания допусков.

Испытания соединителя на соединение/разъединение считают успешным, если не наблюдается образование задиров или если выявляются и устраняются повреждения, определяемые поставщиком райзера как допустимые и подлежащие устранению, и соединитель работает без образования утечек. Для контактных или уплотнительных поверхностей допустимыми являются задиры, которые могут быть удалены с помощью наждачной бумаги.

Устойчивость к соответствующим видам отказов должна быть подтверждена расчетом (см. приложение D) и результатами необходимых проверочных испытаний (см. приложение J).

Должна быть выполнена проверка чувствительности расчетной модели к используемым в модели параметрам.

При проведении расчетов должны быть использованы размеры компонентов при наличии и отсутствии коррозионных повреждений и в качестве определяющего должен быть принят наихудший вариант.

Величины деформации при различных условиях нагружения должны быть ограничены и не должны оказывать негативного влияния на герметичность или механические характеристики компонента.

Примечание — Основной целью анализа чувствительности является количественная оценка имеющихся в модели неопределенностей, подтверждение принятых консервативных допущений и идентификации зон, где для достижения установленных требований к модели необходимо проведение более детальных исследований. Параметрами, используемыми при анализе прочности, герметичности и усталости, как правило, являются предварительное нагружение, допуски на механическую обработку и коэффициенты трения.

6.6.4 Процедуры соединения и разъединения соединителя

Должны быть разработаны и документально оформлены процедуры соединения и разъединения соединителей. Подтверждение достижения заданного значения предварительного нагружения при реализации процедур должно быть осуществлено экспериментально. Должны быть учтены факторы, оказывающие влияние на значение предварительного нагружения, такие как трение и параметры используемой смазки.

Работы по соединению и разъединению соединителей должен выполнять персонал, обладающий требуемой квалификацией. Персонал должен иметь документы, подтверждающие получение основных знаний о работе соединителя и используемых инструментов. Персонал должен пройти аттестацию для подтверждения способности выполнять процедуры соединения/разъединения с обеспечением указанного минимального предварительного нагружения.

Используемый для соединения и разъединения соединителей инструмент должен быть откалиброван в соответствии с требованиями применимых стандартов. Калибровка инструмента, используемого для создания предварительного нагружения, должна быть осуществлена вместе с измерительными приборами.

Поставщик райзера должен определить процедуры соединения и разъединения соединителей, в состав которых должны быть включены процедуры применения резьбовых смазок для исключения задиров.

6.6.5 Уплотнения

В состав соединителей должны входить уплотнения, размещаемые между сопрягаемыми поверхностями, которые должны быть совместимы со всеми флюидами, проходящими через райзер. Уплотнение должно сохранять механическую целостность при воздействии внешних и внутренних нагрузок, включая как кратковременные, так и продолжительные условия нагружения.

В случаях, когда уплотнительные кольца используют для выравнивания сопрягаемых элементов во время соединения/разъединения, уплотнительные кольца должны быть рассчитаны на нагрузки, возникающие в процессе выравнивания.

Уплотнения должны быть изготовлены из металлических материалов или эластомеров, устойчивых к воздействию внутренних и внешних флюидов. Выбор металла уплотнения должен исключать возникновение электрохимической коррозии. Механические и физические свойства уплотнения не должны изменяться под действием давления и температуры с заданными проектными значениями.

Лицевая часть уплотнительных поверхностей соединителя должна иметь класс обработки поверхности и твердость, соответствующие параметрам уплотнительных поверхностей и/или уплотнения.

При наличии циклических нагрузок для предотвращения возникновения утечек не должны применяться конструкции соединителей, в которых уплотнение работает как элемент, находящийся под основной нагрузкой (например, фланцы типа 6B согласно *[11]*).

Уплотнительные кольца, контактирующие с внутренним флюидом, должны иметь такие же внутренние припуски на коррозию, как и у соединяемых труб, и должны быть изготовлены из совместимого материала. В качестве альтернативного решения, уплотнения и уплотнительные поверхности могут быть изготовлены из материала коррозионно-стойкого в условиях эксплуатации.

Дополнительные требования к уплотнениям приведены в 5.4.2, 5.4.12 и приложении Н.

6.6.6 Резьбовые соединения

Настоящий стандарт устанавливает минимальные правила для резьбовых соединений для исключения возможных ограничений на использование инновационных решений. При проведении статического и усталостного анализа резьбовых соединений необходимо учитывать общую нагрузку, число витков, форму резьбы, относительную жесткость сопрягаемых деталей и значение трения. Концентрация напряжений может быть минимизирована за счет наличия свободных витков резьбы без зацепления перед первым рабочим витком резьбы и использования конструкции сопрягаемых деталей, обеспечивающей равномерность распределения нагрузки по виткам резьбы.

Проектировщик должен идентифицировать наиболее слабую зону/секцию и зоны с наиболее высокой концентрацией напряжений в резьбовом соединении. Как правило, это зона основания профиля наиболее нагруженного витка резьбы, которым, как правило, является первый или второй виток. Для

расчета напряжений необходимо учитывать фактическую нагрузку на резьбу, коэффициент концентрации напряжений, определяемый формой резьбы (в частности, оказывает влияние радиус впадины профиля резьбы или эллиптический переход), напряжение изгиба в резьбе, мембранное и изгибающее напряжение в резьбовой части трубы.

В общем случае нагрузка распределяется по виткам резьбы неравномерно, поэтому задачей проектировщика является определение распределения нагрузки по виткам резьбы.

Ограничение крутящего момента при свинчивании должно быть указано поставщиком райзера.

Поставщик также должен указать ограничения для коэффициента закручивания при свинчивании.

6.6.7 Фланцевые соединения

Используемые в райзере З/РС фланцевые соединения, подверженные действию циклических нагрузок, должны иметь канавку под уплотнительные кольца и должны быть рассчитаны на сборку «торец к торцу» для передачи общей действующей на болты нагрузки через рабочие поверхности фланца. Конструкция фланцевого соединения должна исключать возникновение изгибающего момента от фланца при передаче нагрузки на болты (возникновения эффекта рычага).

Самоуплотняющиеся или уплотняющиеся под действием давления металлические уплотнительные кольца можно использовать для обеспечения передачи действующей на болты нагрузки через рабочие поверхности фланца.

Возникновения изгибающего момента можно избежать за счет наличия осевого зазора по диаметру окружности болтов как минимум на одном из фланцев в соединении. Зазор должен быть достаточного размера, чтобы исключить действие на болт момента, например, за счет выступа или изначального конического профиля уплотнительного кольца.

Фланцы, соответствующие требованиям *[12]*, могут быть использованы, прежде всего, в статических условиях нагружения, а для использования в условиях циклических нагрузок следует предусмотреть проверочные испытания.

Примеры расчета фланцев на прочность приведены в *[13]* и *[14]* с коэффициентами использования, приведенными в 6.4. При оценке эффективной ширины фланца для использования в расчетах несущей способности фланца (но не для расчетов гибкости) по *[13]* должен быть использован полный диаметр отверстия под болт вместо эффективного диаметра, если иное не подтверждено результатами испытаний или анализом с применением метода конечных элементов. Болты должны соответствовать требованиям 6.6.8. Должны быть использованы приведенные в приложении D предельные напряжения для находящихся под нагрузкой элементов и касательные напряжения.

Примеры графического представления механических характеристик для фланцев, соответствующих *[12]* для статических условий нагружения, приведены в *[15]*, *[16]* и *[17]*. При использовании этих графиков следует учитывать, что используемые модели не в полной мере учитывают влияние канавки под уплотнения или удерживающие усилия в условиях, приближенных к реальным. Рабочие поверхности фланцев могут начать разъединяться при предельных нагрузках, поэтому несущую способность поверхностей фланца рассчитывают отдельно. Фланцевые соединения, находящиеся под действием циклических (динамических) нагрузок во время эксплуатации, должны обеспечивать контакт уплотнительных поверхностей для снижения риска усталостного разрушения болтов и возникновения утечек из-за повреждения уплотнения.

6.6.8 Болты

В соединителях, в конструкцию которых входят фланцы и хомуты, болты являются элементом, обеспечивающим передачу нагрузок через собранный элемент. Должно быть выполнено предварительное натяжение болтов для предотвращения непреднамеренного разъединения и снижения воздействия циклических нагрузок на болт и соединитель.

Критерии прочности и усталости приведены в 6.4.7 и 6.4.9.

Предварительное натяжение при свинчивании должно исключать повреждения резьбового соединения и должно обеспечивать посадку уплотнений в заданное положение и герметичность соединения в условиях эксплуатации. Методы создания предварительного натяжения болтов описаны в приложении G.

При оценке циклических напряжений необходимо учитывать возникновение осевого и изгибающего напряжения в болтах в результате внешних циклических нагрузок и возможных термических воздействий (см. приложение С).

Для оценки изменения нагрузки на болт в результате воздействия внешних нагрузок, особенно изгибающих напряжений, возможно применение анализа с использованием метода конечных элементов.

6.7 Критерии проектирования вспомогательных компонентов

6.7.1 Предохранительные соединения или слабые звенья

Для исключения повреждения райзера З/РС в нештатной ситуации из-за возникновения избыточных напряжений при действии особых нагрузок должны быть предусмотрены специальные защитные меры. Слабое звено можно использовать для исключения возникновения особых нагрузок, вызванных избыточным натяжением райзера (из-за блокировки компенсатора вертикальной качки) и значительным смещением судна (снос, увод, обрыв якорного каната), и для предотвращения эскалации нештатной ситуации. Предотвращение аварии может быть обеспечено посредством отсоединения райзера или слабого звена, устанавливаемого выше арматуры, обеспечивающей изоляцию подводного устья скважины.

Конструкция предохранительного соединения или слабого звена должна обеспечивать его разрушение или разъединение при достижении заданного значения нагрузки.

В качестве максимальных значений при оценке слабого звена должны приниматься значения предела текучести и предела прочности на растяжение для конструкции слабого звена. В качестве максимального значения прочности должно приниматься средние значение прочности плюс два среднеквадратических отклонения.

Для оценки слабого звена может приниматься 10 %-ный запас прочности.

Компоненты райзерной системы должны быть в состоянии безопасно воспринимать особые нагрузки в колонне райзера, приводящие к разрушению предохранительного соединения.

Предохранительные соединения или компоненты системы, для которых значение предельной прочности (сопротивления разрушению) неизвестно, должны пройти валидацию на соответствие требованиям посредством:

a) выполнения расчетов с использованием максимальных заданных значений, подтвержденных испытаниями;

b) документально оформленных результатов полномасштабных испытаний компонентов или специальных узлов;

c) наличия подтвержденного положительного опыта применения аналогичных компонентов или специальных узлов, проектирование которых осуществлялось аналогичным способом. Необходимо подтвердить применимость существующий конструкции предохранительного соединения в новых условиях эксплуатации.

При расчетах напряжений в элементах райзера следует принимать во внимание, что соотношение «момент — напряжение» может меняться перед окончательным отказом, т. е. для пластичных материалов доминирующая изгибающая нагрузка может измениться на растягивающую, по аналогии с пластическим шарниром. Как минимум, для всех компонентов, выступающих в качестве слабых звеньев райзерной системы, должны быть определены характеристики слабого звена при действии растяжения и давления.

6.7.2 Основные элементы конструкции, на которые не действует внутреннее давление

Элементы конструкции, не работающие под давлением, должны быть спроектированы в соответствии с принятыми отраслевыми стандартами с оформлением результатов в соответствии с требованиями раздела 11. При проведении расчетов значение коэффициента запаса прочности должно приниматься равным 1,5 или более (коэффициент использования 0,67 или менее), или могут быть использованы промышленные стандарты, например, *[7]*. Кроме того, можно применять анализ с использованием метода конечных элементов или проводить испытания с приложением требуемой нагрузки. В случае проведения испытаний с нагрузкой, равной 1,5 проектной нагрузки, элемент конструкции должен выдерживать действие приложенной нагрузки без признаков образования деформации, которая может оказать влияние на другие эксплуатационные параметры.

6.7.3 Расчет проушин и подъемных устройств

Проушины и устройства, используемые для подъема и перемещения оборудования, должны быть спроектированы и квалифицированы в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 (*пункт *5.4.4)* или эквивалентных стандартов.

7 Материалы и изготовление

7.1 Общие положения

Раздел 9 содержит общие правила в отношении выбора, изготовления и испытаний материалов, защиты от коррозии и подготовки документации. Эти правила применимы ко всем компонентам оборудования, включенного в область действия настоящего стандарта, за исключением оборудования, которое находится в области действия других применимых стандартов (см. таблицу 2).

7.2 Общие требования к материалам

7.2.1 Выбор материалов

При выборе материалов должно быть обеспечено соблюдение следующих требований:

- материалы должны быть применимы для всех режимов эксплуатации, условий испытаний и хранения;
- материалы должны иметь механические характеристики (например, прочность, пластичность и ударная вязкость), соответствующие требованиям к проектированию в разделе 6;
- свойства материалов должны соответствовать функциональным требованиям раздела 5;
- при выборе материалов необходимо учитывать используемые при изготовлении оборудования технологические процессы, включая сварку, если применимо;
- материалы должны быть совместимыми с внутренними флюидами, внешними флюидами и условиями окружающей среды на этапах испытаний, монтажа, эксплуатации и хранения;
- в рамках одного узла не допускается использование разнородных металлов, если это может создать риск возникновения гальванической коррозии;
- материалы должны иметь характеристики старения, соответствующие установленным требованиям;
- материалы должны обладать достаточной стойкостью к истиранию/износу и механическим повреждениям, имеющим место при обслуживании, монтаже и эксплуатации райзера.

Наиболее ответственные компоненты райзера З/РС не должны быть изготовлены из отливок.

Для компонентов с высокими напряжениями в точках контакта при скольжении, например в резьбовых соединениях, должны быть предусмотрены специальные меры для предупреждения образования задиров.

Выбор неметаллических (полимерных) материалов должен быть основан на анализе условий эксплуатации, функциональных характеристик и проектного срока службы. Неметаллические материалы для уплотнений должны отвечать следующим требованиям:

- соответствие физических и механических характеристик, таких как твердость, прочность на разрыв, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости, остаточная деформация при сжатии, сопротивление разрыву и т. д.;
- сопротивление экструзии или ползучести при высоком давлении;
- сопротивление циклическим термическим и динамическим нагрузкам;
- устойчивость к декомпрессии газа;
- сохранение рабочих характеристик на протяжении длительного периода времени и эластичности при низкой температуре.

7.2.2 Технические условия

Все материалы для трубы райзера и компонентов, расходные сварочные материалы (если применимо) и покрытия должны быть изготовлены и использованы в соответствии с требованиями соответствующих отраслевых стандартов и настоящего стандарта. Области требований настоящего стандарта, не входящие в соответствующий отраслевой стандарт, должны быть идентифицированы и добавлены к требованиям используемого отраслевого стандарта.

При отсутствии стандарта на материал должны быть разработаны технические условия. Технические условия должны устанавливать требования к технологии изготовления, химическому составу, термообработке, физическим и механическим свойствам материала, свариваемости (если применимо), размерам и допускам, состоянию поверхности, испытаниям, маркировке, временным покрытиям и защите, сертификации и документации.

Технические условия на материалы могут представлять собой ссылку на перечень технических параметров материала, определенных в соответствующих стандартах, включать дополнительные требования настоящего стандарта, дополнительные требования, подлежащие согласованию, и т. д.

Изготовление компонентов райзера должно быть выполнено в соответствии с техническими условиями, содержащими требования к методам и технологии изготовления, процедурам испытания, критериям допуска и к необходимой документации.

Производство должно осуществляться в соответствии с техническими условиями на технологию изготовления. Технические условия на технологию изготовления должны определять, каким образом должны быть обеспечены и верифицированы заданные свойства материалов в процессе изготовления. Технические условия на изготовление должны учитывать все факторы, влияющие на качество и надежность продукции. Все основные этапы производства от входного контроля материалов до отгрузки конечного(ых) продукта(ов), включая перечень видов и точек контроля, должны быть детально описаны. Технические условия должны включать ссылки на процедуры в рамках выполнения каждого этапа.

7.2.3 Квалификация материалов и поставщиков

Следует рассмотреть необходимость квалификации материалов относительно условий эксплуатации. В процессе оценки следует учитывать воздействие внутренних и внешних флюидов, нагрузки, температуры и перечень выбранных материалов. Если квалификация материала необходима, то должно быть определено, какие испытания и исследования должны быть выполнены в рамках квалификации.

Требования к квалификации процессов, процедур испытаний, изготовителей и поставщика следует рассматривать для каждого конкретного случая. При рассмотрении принимают во внимание сложность и критичность поставляемой продукции и имеющийся опыт потенциальных изготовителей и поставщиков.

7.2.4 Материалы для применения в средах, содержащих сероводород

Для всех элементов райзера З/РС, которые во время эксплуатации могут подвергаться воздействию пластовых флюидов, содержащих сероводород (при испытании скважины и обеспечении циркуляции), должна быть выполнена оценка риска воздействия сероводорода. Требования к металлическим материалам для применения в средах, содержащих сероводород, должны соответствовать *ГОСТ Р 53679* и *ГОСТ Р 53678* с дополнениями, приведенными в настоящем стандарте.

Технические условия на материалы для работы в средах, содержащих сероводород, должны включать требования к испытаниям для подтверждения стойкости к сульфидному растрескиванию под напряжением и водородному растрескиванию, если пригодность данных материалов для применения в средах, содержащих сероводород, не установлена другими стандартами.

Требования по предотвращению водородного растрескивания могут включать уменьшение содержания и/или контроль формы неметаллических включений.

Для углеродистой стали проверочные испытания в процессе квалификации должны быть выполнены в соответствии с *ГОСТ Р 53679*, *ГОСТ Р 53678*. Процесс квалификации должен включать испытания на стойкость к сульфидному растрескиванию под напряжением основного металла и сварных швов с минимальным пороговым напряжением, равным 85 % от заданного предела текучести, или более высоким, если это установлено требованиями применимого стандарта.

7.2.5 Согласованность требований

Требования к материалам для всех компонентов райзерной системы З/РС, работающих под давлением, и конструктивных компонентов под нагрузкой должны быть последовательными и взаимосогласованными.

Пример — Химический состав, обеспечивающий свариваемость, ударная вязкость для предотвращения хрупкого разрушения.

7.2.6 Производство стали

Сталь должна быть произведена способом, обеспечивающим однородность химического состава и свойств, а также отсутствие дефектов.

7.2.7 Химический состав и анализ

Химический состав стали должен соответствовать используемым при изготовлении компонентов райзера технологическим процессам и процедурам сварки (если применимо) и обеспечивать требуемые показатели прочности, пластичности, ударной вязкости и коррозионной стойкости.

Химический состав стали определяют стандартными методами анализа, обеспечивающими необходимую точность определения массовой доли химических элементов с учетом *ГОСТ Р 54384*. Содер-

жание всех элементов, перечисленных в технических условиях на материал, должно быть определено и отражено в документации. Результаты исследований должны включать как минимум содержание в массовых процентах следующих элементов: углерод, марганец, кремний, фосфор и сера. В документации должно быть отражено содержание легирующих элементов (Ni, Cr, Mo, V, N и т. д.). Заказчик при необходимости может запросить информацию об остаточноме содержании других элементов.

Состав низколегированных сталей, включая AISI 4130 и AISI 4140, должен быть изменен следующим образом: P: 0,025 % макс. и S: 0,025 % макс.

Примечание — В *[18]* содержится перечень стандартов, относящихся к методам химического анализа, включая данные о применении и точности различных методов.

7.2.8 Механические и коррозионные испытания

Объем и тип испытаний должны устанавливаться с учетом типа, размера, технологических процессов изготовления, области применения и предполагаемых условий использования материалов различных компонентов, и должны соответствовать признанным стандартам или техническим условиям на продукцию.

Испытания должны быть проведены в соответствии с требованиями применимого стандарта на проверку свойств материалов или соответствующих технических условий в лаборатории, отвечающей требованиям *ГОСТ ISO/IEC 17025* или аналогичного стандарта.

Отбор проб и подготовку образцов для механических испытаний необходимо выполнять в соответствии с требованиями *ГОСТ Р 53845*, насколько это применимо. Процесс отбора проб должен соответствовать требованиям признанных стандартов или техническим условиям. Если для отбора проб используют термическую резку, при подготовке образцов должна быть полностью удалена зона, подвергшаяся термическому воздействию.

Образцы для испытаний труб и компонентов должны быть отобраны из изделий или сварных соединений в состоянии окончательной поставки, которые могут использоваться для отбора проб для проведения механических испытаний. Образцы для испытаний должны иметь размеры, соответствующие размерам элемента в поперечном сечении после окончательной механической и/или термической обработки.

Испытания на растяжение должны быть выполнены в соответствии с *ГОСТ 1497, ГОСТ 9651, ГОСТ 11150* или *[19]* в зависимости от применимости.

Образцы для коррозионных испытаний необходимо отбирать таким образом, чтобы была обеспечена возможность проверки поверхности образца, которая будет контактировать с коррозионной средой.

7.2.9 Общие требования к механическим свойствам

Требования к механическим свойствам ферритных, ферритно-аустенитных или мартенситных нержавеющих или углеродистых сталей, включая сварные соединения (за исключением болтов), используемых для изготовления компонентов, работающих под давлением и/или воспринимающих нагрузку, приведены в таблице 15.

Таблица 15 — Требования к свойствам стали

Свойство	Требование	
Минимальный процент относительного удлинения при разрыве, A_5 для расчетной длины образца, $L_0 = 5{,}65\sqrt{A_{TTS}}$ или $5d_d$	Поперечное или критическое направление:	14 (16)[a]
	Продольное или наименее критическое направление:	16 (18)[a]
Минимальное относительное уменьшение площади поперечного сечения для поковок или отливок, %		35 %
Максимальное отношение предела текучести к пределу прочности на разрыв[b]		0,92
Температура испытания на ударную вязкость[c]		Минимальная расчетная температура

Окончание таблицы 15

Свойство	Требование	
Минимальная энергия удара в поперечном или критическом направлении, полноразмерный образец Шарпи с V-образным надрезом, средний/индивидуальный, (ньютон-метр)[c]	$R_{t0,5} \leq 310$ МПа	27/20
	$R_{t0,5} > 310$ МПа	40/30
Максимальная твердость по Виккерсу, HV10[d]	Эксплуатация при отсутствии сероводорода и катодной защиты	350 — основная зона, зона сварного шва и зона термического влияния
	Эксплуатация в присутствии сероводорода	250 — корневая зона 275 — покрывающая зона

[a] Значения в скобках приведены для образцов с отношением длина базы измерения/диаметр, равным 4. Могут использоваться более высокие коэффициенты безопасности или испытания, подтверждающие пластическое поведение, для обоснования использования более низких значений; см. 6.4.6. Для приведения к другим значениям длины базы измерений, для углеродистых и низколегированных сталей применяются таблицы преобразования в *ГОСТ Р ИСО 2566-1*.

[b] Подробнее см. 6.4.6.

[c] Подробнее см. 7.2.10.

[d] Подробнее см. 7.2.11.

В случае применения высокопрочных материалов проектировщик должен принять меры, исключающие возникновение возможных механизмов повреждения, таких как хрупкое разрушение, коррозионное растрескивание под напряжением или водородное растрескивание, вызванное влиянием электрохимической защиты. Для сварки высокопрочных материалов должны быть разработаны специальные процедуры.

7.2.10 Предотвращение хрупкого разрушения

7.2.10.1 Общие положения

Материалы для райзерных систем З/РС должны быть выбраны и использованы таким образом, чтобы не допустить хрупкого разрушения. При определении требований к ударной вязкости металлических материалов должен быть использован один из следующих методов:

a) метод испытаний на ударную вязкость по Шарпи образцов с V-образным надрезом;

b) испытания и анализ механики разрушения.

Требования к хрупкому разрушению следует соблюдать для основного металла и для сварных компонентов, металла сварного шва и зоны термического влияния при минимальной расчетной температуре (см. таблицу 15).

7.2.10.2 Метод испытаний на ударный изгиб по Шарпи образцов с V-образным надрезом. Практическое руководство

Требования к энергии удара при проведении испытаний приведены в таблице 15. Значения в таблице 15 приведены с учетом поперечного расположения V-образного надреза относительно ориентации зерен в материале и/или в поперечном направлении к наибольшему приложенному растягивающему напряжению в компоненте. Если геометрические размеры образца не позволяют провести испытания при поперечном расположении надреза, возможно проведение испытаний с продольным расположением надреза. Минимальные средние и индивидуальные значения при испытаниях образца с расположением V-образного надреза в продольном направлении должны составлять 1,5 от значений, установленных для образцов с поперечным направлением надреза.

Полноразмерные испытания по Шарпи образцов с V-образным надрезом следует выполнять в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 148-1*. В каждой серии ударных испытаний должны быть использованы три смежных испытательных образца. Альтернативно, могут также быть использованы образцы из невыпрямляемых проб согласно *ГОСТ ISO 3183, ГОСТ 31446* и т. д. Допустимы испытания на ударный изгиб по Шарпи образцов с V-образным надрезом толщиной, равной или более 5 мм. При невозможности получения стандартных образцов могут быть использованы образцы уменьшенных размеров, т. е. 10 × 7,5 мм или 10 × 5 мм. Необходимые значения энергии удара при этом должны быть уменьшены соответственно до 0,80 и 0,70 от значения для стандартного испытательного образца 10 × 10 мм.

В процессе испытаний на ударный изгиб сварных компонентов испытанию подлежат основной материал, материал сварного шва, граница проплавления, граница проплавления плюс 2 мм и граница проплавления плюс 5 мм.

Должны быть предусмотрены испытания и анализ на вязкость разрушения для материалов и сварных соединений, если поставщик не может документально подтвердить положительный опыт применения таких материалов или отсутствуют результаты испытаний на ударный изгиб по Шарпи с V-образным надрезом аналогичных изделий на соответствие требованиям к ударной вязкости. Испытания и анализ вязкости разрушения следует рассматривать в каждом конкретном случае для материалов и сварных деталей с PWHT, если толщина стенки превышает 40 мм для предела текучести $R_{t0,5} \leq 560$ МПа или для толщины стенки, превышающей 30 мм для предела текучести $R_{t0,5} > 560$ МПа.

7.2.10.3 Определение характеристик трещиностойкости

Результаты испытания на определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) могут быть использованы для подтверждения применимости конкретного компонента в заданных условиях эксплуатации при согласовании заказчиком и поставщиком в следующих случаях:

- если отсутствует стандарт на используемый материал;
- если невозможно обеспечить требования к проведению испытаний на ударный изгиб по Шарпи (см. 7.2.10.2);
- если обнаруженные в процессе неразрушающего контроля дефекты не попадают в рамки заданных критериев допуска;
- если толщина используемого материала превышает допустимую толщину образцов для испытания на ударный изгиб по Шарпи для образцов с V-образным надрезом (см. 7.2.10.2).

Результаты анализа механизма разрушения также могут быть использованы при разработке программы обследования и диагностики оборудования.

Для материалов, не соответствующих требованиям к энергии удара при испытаниях на ударный изгиб по Шарпи для образцов с V-образным надрезом, аналогичные параметры прочности могут быть получены при оценке соответствия требованиям к вязкости разрушения (трещиностойкости) в соответствии с *ГОСТ 25.506, [20]* и *[21]* при обеспечении:

- указания на размер дефекта по согласованию заинтересованных сторон (например, внутренняя трещина общей длиной 10 мм или поверхностная трещина в четверть толщины стенки и длиной, равной шестикратной глубине распространения трещины);
- использования рассчитанных напряжений или деформаций в месте нахождения дефекта для проектных условий, включая остаточные напряжения.

Характеристики трещиностойкости должны быть получены на плоских образцах полной толщины с краевой трещиной для испытаний на изгиб согласно *ГОСТ 25.506, [22]* и *[23]* или эквивалентным стандартам. Поскольку сопротивление разрушению зависит от коэффициента интенсивности напряжений вблизи вершины трещины, образцы с уменьшенной глубиной трещины, например равной размеру соответствующего дефекта, могут быть использованы для получения значения вязкости разрушения для участков, преимущественно подверженных мембранным напряжениям, например в стенке трубы.

Значения трещиностойкости должны быть репрезентативными для соответствующей температуры, напряжений и коэффициента интенсивности напряжений вблизи вершины трещины (глубины трещины).

Примечание — Приемлемым является значение раскрытия трещины в диапазоне от 0,15 до 0,20 мм при проектной рабочей температуре.

Если используемые методы неразрушающего контроля позволяют точно определять размеры дефектов, полученные размеры трещин, вместе с информацией о напряжениях в критических участках компонента, их можно применять для конкретизации требований к испытанию на ударный изгиб по Шарпи образцов с V-образным надрезом.

Для материалов, к которым применим метод испытаний на ударный изгиб по Шарпи образцов с V-образным надрезом, но требования к энергии удара не могут быть обеспечены, возможно применение процедур оценки пригодности к использованию по назначению согласно *ГОСТ 25.506*, *[20]* или *[21]*, использующих репрезентативные данные трещиностойкости и устанавливающих требования к проведению обследования и диагностики компонентов.

7.2.11 Твердость

При наличии риска водородного растрескивания и если флюиды, действующие на компоненты райзера, могут вызывать коррозионное растрескивание под напряжением, должны быть определены

требования к максимальной окончательной твердости стали. Значение твердости должно соответствовать требованиям таблицы 15.

Испытания на твердость в рамках аттестации сварочных процедур должны быть выполнены методом измерения твердости по Виккерсу в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 6507-1* с нагрузкой 98,07 Н, т. е. число твердости по Виккерсу HV10.

Измерение твердости по *ГОСТ 6996* необходимо выполнять на поперечном сечении сварного шва в рамках квалификации процедуры сварки, если это определено в договоре на поставку (см. 7.4.3). Лунки должны быть выполнены с интервалом не более 1 мм в поперечном сечении сварного соединения от металла сварного шва в основной металл или в обратном направлении. Лунки должны быть выполнены вдоль поперечных линий, на глубину (1,5 ± 0,5) мм с обеих сторон сварного шва.

7.2.12 Повторное испытание

Если результаты испытания не соответствуют установленным требованиям, поставщик может провести дополнительные испытания двух других деталей из той же плавки или партии, прошедшей термообработку.

Если результаты одного или нескольких дополнительных испытаний не соответствуют заданным требованиям, все детали проверяемой плавки или партии, прошедшей термообработку, должны быть отбракованы *или должна быть проведена повторная исправляющая термообработка (если применимо) с предъявлением изделий как новой партии.* Если результаты обоих повторных испытаний являются приемлемыми, то остальная часть испытываемой партии принимается, кроме одного не прошедшего испытаний компонента.

7.2.13 Защита от коррозии

7.2.13.1 Общие положения

Все компоненты райзерной системы должны иметь защиту от коррозии для исключения повреждений, в результате действия как внешней, так и внутренней коррозии. Защиту от коррозии обеспечивают посредством реализации следующих мер или их сочетания: выбора материалов, применения защитных покрытий, контроля свойств флюида, применения системы электрохимической защиты и средств консервации. При выборе мер защиты от коррозии необходимо учитывать как минимум условия окружающей среды в открытой воде, условия внутри бурового райзера, параметры коррозионной среды внутри и снаружи райзера, коррозионные характеристики сварных швов, параметры используемых покрытий, возможность развития щелевой коррозии, влияние электродных потенциалов металлов, влияние катодной защиты, электрохимическое взаимодействие внутри бурового райзера.

Для райзеров З/РС, изготовленных из марганцево-углеродистой стали, необходимо выполнять оценку уменьшения толщины стенки под действием коррозии в процессе эксплуатации и хранения. При расчете должны быть учтены припуски на коррозию (см. 6.4.4).

7.2.13.2 Внутренняя коррозия

Должны быть учтены коррозионные свойства флюидов внутри райзера, при наличии высококоррозионных флюидов должны быть предусмотрены припуски на коррозию. При определении толщины стенки следует учитывать скорость коррозии под воздействием добываемых флюидов и флюидов, используемых при проведении внутрискважинных работ.

Примечание — Специальные меры при выборе соединителей могут минимизировать коррозию в мертвых зонах.

При необходимости внутренняя коррозия может быть уменьшена посредством реализации следующих мер: регулярная промывка/очистка райзера с использованием ингибиторов, бактерицидных веществ, дегидраторов и т. д.; применение временных покрытий, таких как смазка, для минимизации воздействия на поверхность райзера; использование заглушек на концах секций райзера; применение внутренних покрытий с длительным сроком эксплуатации, таких как пластиковые или эпоксидные материалы.

7.2.13.3 Внешняя коррозия

Внешняя поверхность райзера должна быть защищена системами покрытий с обеспечением ремонта покрытий и защиты поврежденных участков покрытий. Также может быть рассмотрено применение катодной защиты.

Можно применять постоянное внешнее покрытие, такое как эпоксидное покрытие или термическое напыление алюминия. Термическое напыление алюминия можно использовать для исключения необходимости осуществлять техническое обслуживание покрытия. Для болтов, гаек, фланцев и т. д. могут быть использованы покрытия на основе парафина.

При выборе внешнего покрытия необходимо учитывать следующие аспекты:

a) механические нагрузки, нагрузки вследствие термического воздействия, нагрузки при перемещении и монтаже, циклические нагрузки, повреждения при свинчивании/развинчивании соединителей райзера и трение компонентов райзера в соединителях;

b) устойчивость к кратковременному воздействию внутренних флюидов при свинчивании или развинчивании соединителей райзера;

c) сопротивление миграции флюида под защитным покрытием;

d) устойчивость к расслоению, пластической деформации при низкой температуре, охрупчиванию, отслаиванию вследствие разрушения в переходном слое и растрескиванию;

e) простота ремонта и/или возможность повторного использования;

f) обеспечение сплошности покрытия металлов для предотвращения электрохимической коррозии. Материалы, имеющие более высокий положительный потенциал, должны быть защищены от смежных металлов с меньшим потенциалом.

При проектировании должна быть обеспечена надежная непрерывная электрическая связь каждого элемента, находящегося под действием катодной защиты, в течение периода эксплуатации.

Если в конструкцию райзера не включены собственные аноды, рекомендуется, чтобы система катодной защиты сопрягаемого оборудования была рассчитана на ток, требуемый для защиты райзера.

7.2.13.4 Коррозионные испытания

Для некоторых комбинаций материалов и флюидов, в случае, когда неправильное изготовление может стать причиной развития коррозии, должна быть рассмотрена и согласована изготовителем и заказчиком необходимость проведения коррозионных испытаний во время квалификации и/или производства оборудования райзера. Коррозионные испытания для углеродистых сталей могут включать проверку на водородное растрескивание или сульфидное растрескивание под напряжением (см. 7.2.4).

7.2.14 Прочность сварного шва

Механические характеристики металла сварного шва должны как минимум соответствовать требованиям, установленным к основному материалу. Металл сварного шва должен обладать более высокими показателями предела текучести и предела прочности на разрыв. Должно быть уделено внимание обеспечению баланса между требованиями к ударной прочности, пластичности и их превышению для основного материала и присадочных материалов.

Для кольцевых сварных швов применимость присадочных материалов, используемых при производстве, включая возможные сочетания сварочной проволоки и флюса, должна быть подтверждена посредством испытаний.

Достаточное превышение прочностных параметров может быть достигнуто двумя различными путями:

a) металл сварного шва следует выбирать с минимальным пределом текучести, как минимум на 5 % выше, чем фактический предел прочности на разрыв основного материала;

b) следует выбирать металл сварного шва с минимальным пределом текучести выше максимального предела текучести основного материала.

Если превышение прочностных параметров сварного шва не может быть обеспечено, необходимо принимать специальные меры, чтобы обеспечить достаточную прочность и ударную вязкость сварных соединений.

7.2.15 Свойства при повышенных температурах

Механические и физические свойства материалов при максимальной расчетной температуре для эксплуатации при температуре свыше 50 °C должны быть отражены в документации, кроме случаев, когда они указаны в стандарте на продукцию или дополнительно подтверждены.

Материал необходимо применять в границах приведенных в таблице 8 значений температуры, соответствующих установленному в стандарте на продукцию классу температур. Если стандарт на продукцию не содержит значений показателей прочности для конкретного материала, требуемых для максимальной расчетной температуры, могут использоваться значения, приведенные в 6.4.6.

Для ферритных сталей, для которых отсутствуют значения свойств для диапазона от 20 °C до 100 °C, значения предела текучести для 20 °C может быть использовано для температур, не превышающих 50 °C включительно.

7.2.16 Свойства после штамповки и термообработки

Для материалов, подвергающихся термической обработке, холодной или горячей штамповке, сварке или другим видам обработки, влияющим на свойства материала, соответствие материала уста-

новленным требованиям после обработки должно быть подтверждено документально. Должна быть предоставлена документация для основного материала и, при наличии сварных компонентов, для материалов сварного шва и зон термического влияния.

В технические условия следует включать допустимые значения возможного снижения механических свойств материала, например в результате последовательности технологических процессов.

7.2.17 Отсутствие дефектов

Визуальный осмотр и неразрушающий инструментальный контроль должны быть выполнены для всех элементов для проверки отсутствия дефектов, которые делают материал/сварной шов непригодным для применения в заданных условиях. Визуальный осмотр и неразрушающий инструментальный контроль должен выполнять персонал, имеющий требуемую квалификацию.

Сочетание используемых методов неразрушающего инструментального контроля должно обеспечивать выявление поверхностных и внутренних дефектов. Методика выполнения методов неразрушающего инструментального контроля и приемлемые значения контролируемых параметров должны соответствовать признанным стандартам.

7.2.18 Прослеживаемость

Должна быть обеспечена верификация прослеживаемости на стадии производства и должны быть обеспечены необходимые идентификаторы для стадий изготовления, последующей обработки и использования. Указанное требование может быть достигнуто посредством нанесения необходимой маркировки, т. е. уникального идентификатора каждого отдельного элемента, содержащего ссылку на сертификаты материалов. В процессе хранения и погрузочно-разгрузочных работ необходимо уделять особое внимание сохранению идентификаторов.

7.2.19 Маркировка

Материалы и компоненты должны иметь маркировку, соответствующую требованиям применимых стандартов на продукцию или, если не указано иное, требованиям к системе маркировки *ГОСТ 33259*, *[24].* Маркировка должна быть легко идентифицируемой, устойчивой и должна быть расположена на участках, исключающих ее повреждение. При нанесении маркировки методом штамповки необходимо минимизировать создаваемую при этом концентрацию напряжений.

7.2.20 Документация процедур контроля

Для продукции, изготовляемой в соответствии с требованиями настоящего стандарта, должна быть выполнена проверка на соответствие требованиям к поставке посредством проведения специального контроля и испытаний.

Все материалы необходимо поставлять с документами контроля в соответствии с *ГОСТ 31458*, должна быть обеспечена прослеживаемость документов для каждого компонента райзера. Материалы для компонентов, работающих под давлением, и компонентов, воспринимающих нагрузки, включая расходные сварочные материалы, должны иметь документ приемочного контроля — Документ 3.1 в соответствии с *ГОСТ 31458*. Неметаллические материалы должны быть сертифицированы в соответствии с применимыми стандартами.

7.2.21 Итоговая документация

Технические условия с согласованными отклонениями, проектная документация, такая как расчеты и чертежи, результаты испытаний и диагностики, сертификаты должны быть собраны и должны храниться в течение периода эксплуатации в соответствии с требованиями к документации (см. 11.8).

В окончательный комплект документации должны быть включены выписки из технических условий на изготовление и полные статистические данные о химическом составе, механических свойствах и объемах поставки.

7.2.22 Защита и обслуживание

Такие компоненты, как труба райзера, компоненты и соединения райзера, должны быть защищены от повреждений с момента изготовления до передачи в эксплуатацию, а также в течение периода эксплуатации, включая хранение.

Все концы труб/соединителей должны быть снабжены соответствующими защитными крышками/заглушками для герметизации полостей райзера и защиты концов труб/соединителей во время погрузочно-разгрузочных работ и хранения.

7.3 Изделия

7.3.1 Общие положения

Если требования настоящего стандарта вступают в противоречие с требованиями стандартов, используемых при изготовлении труб и других компонентов, требования настоящего стандарта являются определяющими.

7.3.2 Трубы

Трубные элементы райзера З/РС, работающие под давлением, должны быть изготовлены из бесшовных труб.

Как минимум, трубы, работающие под давлением, должны быть изготовлены и испытаны в соответствии с *ГОСТ ISO 3183, ГОСТ 31446, ГОСТ 32696* или эквивалентными стандартами для металлических труб.

Для всех труб должны быть выполнены испытания на твердость в соответствии с *ГОСТ ISO 3183, ГОСТ 31446* или эквивалентными стандартами.

7.3.3 Ковка и объемная штамповка

7.3.3.1 Общие положения

Поковки должны быть подвергнуты механической горячей обработке (протяжке) по всей длине для достижения формы, максимально близкой к окончательной. Технология протяжки должна быть выбрана таким образом, чтобы были обеспечены наиболее благоприятные направление волокон и структура материала с учетом конструкции и условий применения изготавливаемого компонента. Должно быть уделено внимание отсутствию опасных дефектов, которые могут появиться на поверхности компонента после протяжки. Коэффициент укова должен быть не менее 3:1.

Требования к химическому составу поковок должны устанавливаться в зависимости от проектных требований. Поковки должны соответствовать требованиям *ГОСТ 8479 (см. также [25])*. Требования к поковкам и изделиям, полученным методом объемной штамповки, могут быть установлены на основе признанных стандартов, таких как *ГОСТ 7505 (см. также [26], [27] или [28])*.

7.3.3.2 Изготовление

Сталь должна быть полностью раскисленной, должен быть обеспечен контроль микроструктуры и неметаллических включений.

Термообработку необходимо проводить в соответствии с *ГОСТ 33439*. Для достижения требуемых механических свойств должны быть выполнены закалка и отпуск при субкритической температуре после предварительной обработки. Перед проведением закалки и отпуска должен быть выполнен входной контроль поковок. Содержание углерода следует определять в точке выполнения испытания на твердость. Термообработка должна быть проведена в соответствии с документально оформленной процедурой.

Процесс термообработки должен быть задокументирован при помощи диаграмм термообработки, которые должны входить в состав документации контроля. Термообработка материалов, подверженных действию скважинного флюида и жидкостей, используемых при внутрискважинных операциях, должна соответствовать *ГОСТ Р 53679, ГОСТ Р 53678*.

Закалка должна быть осуществлена там, где это возможно, снаружи и изнутри изделия. Закалка должна быть выполнена таким образом, чтобы изменение механических свойств по всему поперечному сечению изделия было минимальным. Поставщик должен предоставить подтверждение, что технология отпуска обеспечивает достижение необходимой температуры для всех поковок.

Ремонт с использованием сварки для поковок и изделий, полученных методом объемной штамповки, не должен выполняться без письменного согласования заказчика.

7.3.3.3 Химический состав и механические испытания

Заказчик должен предоставить данные о цикле термической обработки, проводимой после выполнения сварочных работ, если применимо. Требования к испытаниям и критерии допуска должны быть согласованы.

Моделирование термообработки испытываемой детали и тестового образца должно использоваться в тех случаях, когда сварной шов между компонентом с другими деталями должен пройти термическую обработку после сварки.

Испытываемый образец должен иметь удлинение или напуск на пробы поковки или штамповки.

Объем испытаний, которые должны быть выполнены во время производства, должен соответствовать требованиям таблицы 16 для каждой плавки. Место отбора образцов из поковки или штампованной детали, должно соответствовать *[29]* или определяться по согласованию с заказчиком. Постав-

щик должен подготовить схемы размещения напусков на пробы и мест отбора образцов для испытаний для утверждения заказчиком.

Если применимо, ориентация образцов должна быть поперечной по отношению к направлению основной обработки во время ковки или объемной штамповки.

Суммарную длину напусков для испытаний подбирают исходя из параметров поковки в соответствии с требованиями *[30].* Напуски на пробы должны иметь размер, соответствующий наибольшей толщине сечения поковки, для которой проводят испытания, и, как правило, должны включать термическую переходную зону. Размер должен быть достаточным для выполнения всех испытаний и дополнительно обеспечивать возможность повторных испытаний.

Механические свойства поковки, получаемые в процессе испытаний на растяжение, ударный изгиб по Шарпи и твердость, должны соответствовать требованиям таблицы 16. Если номинальная толщина превышает 25 мм, образцы для испытаний на растяжение и ударный изгиб по Шарпи могут быть вырезаны и испытаны при значении толщины, составляющем 50 % от номинальной. Испытание на пластичность по толщине должны быть выполнены для каждой плавки. Коррозионные испытания следует проводить по согласованию заказчика и производителя (см. 7.2.13.4). Твердость должна быть измерена в нескольких местах вдоль образца по периферии в местах механической черновой обработки.

Таблица 16 — Химический анализ и механические испытания поковок

Тип испытаний	Число и периодичность испытаний
Определение химического состава	Один на плавку
Растяжение	Один на партию плавки с термообработкой
Испытания по Шарпи с V-образным надрезом	Один комплект на партию плавки с термообработкой
Контроль твердости по толщине	Один на плавку для применения в присутствии сероводорода
Контроль поверхностной твердости	По согласованию
Металлография	Один на плавку для применения в присутствии сероводорода

Все поковки или детали, изготовленные методом объемной штамповки, большого размера (усиленные и натяжные секции) подлежат испытаниям. Объем испытаний может быть уменьшен для небольших поковок, т. е. поковок для механических соединителей, следующим образом: 100 % для первых 10 поковок каждого размера и типа, затем 10 % для каждого размера и типа. Если результаты одного из испытаний первых 10 поковок не соответствуют заданным требованиям, все поковки или детали, изготовленные объемной штамповкой, этого размера и типа должны быть испытаны.

7.3.3.4 Визуальный контроль и неразрушающий инструментальный контроль

Поковки должны быть проверены методом неразрушающего инструментального контроля для подтверждения отсутствия критических внутренних или внешних дефектов.

Требования к персоналу, методам, оборудованию, процедурам и критериям допуска при проведении неразрушающего контроля приведены в 7.5.

Каждая поковка или деталь, изготовленная методом объемной штамповки, должна проходить 100 %-ный визуальный контроль наружной поверхности и доступных участков внутренних поверхностей в соответствии с *ГОСТ Р ЕН 13018* при обеспечении требований к освещению.

100 % поковок или деталей, изготовленных методом объемной штамповки, должны проходить контроль методом магнитопорошковой дефектоскопии в соответствии с *ГОСТ Р 56512* и ультразвуковой дефектоскопии в соответствии с *ГОСТ 24507*.

Магнитопорошковая дефектоскопия должна быть выполнена после заключительной термической и машинной обработки по всей поверхности (внутренней, наружной и на концах/концевых фасках насколько возможно) на всех доступных поверхностях. Торцевые поверхности должны быть проверены для выявления расслоения в соответствии с *ГОСТ ISO 3183.* Особое внимание должно быть уделено поверхностям, на которые устанавливают уплотнения, и зонам с наибольшей концентрацией напряжений. Если возможность доступа для проведения дефектоскопии в проходном отверстии ограничена, то должна быть проведена ультразвуковая дефектоскопия поковки перед высверливанием отверстия или

окончательной машинной обработкой отверстия. Магнитопорошковая дефектоскопия должна быть выполнена на всех кованых деталях.

Ультразвуковая дефектоскопия должна быть выполнена для всех поковок с использованием прямых и наклонных преобразователей. Ультразвуковой дефектоскопии подлежат все поковки с большим весом, т. е. поковки, используемые для изготовления усиленных и натяжных секций. Торцевые поверхности поковок или заготовок, изготовленных методом объемной штамповки, должны быть проверены ультразвуковой дефектоскопией для выявления линейных дефектов в соответствии с *ГОСТ ISO 3183*. Для поковок небольших размеров, таких как поковки для механических соединителей, ультразвуковой дефектоскопии подлежат все первые 10 поковок каждого размера и типа. Если дефектов не обнаружено, объем проведения ультразвуковой дефектоскопии может быть уменьшен до 10 % случайно выбираемых изделий каждого размера и типа для остальных деталей проверяемой плавки или партии, прошедшей термообработку. Если дефекты выявлены в первых 10 поковках или в процессе проверки 10 % поковок, то все 100 % поковок данного размера и типа подлежат проверке.

7.3.4 Конструктивные элементы

Болты, шпильки и гайки должны быть испытаны в соответствии с общепризнанными стандартами в дополнение к требованиям в 7.3.5 и таблице 15.

Как правило, материалом для болтовых соединений является углеродистая или низколегированная сталь, выбранная в соответствии со стандартами, приведенными в таблице 17. По согласованию с заказчиком могут быть использованы эквивалентные стандарты.

Таблица 17 — Стандарты на материалы болтовых соединений

Применение	Болт	Гайка	Минимальная расчетная температура
Подводное	*ГОСТ ISO 898-1,* группа прочности 8.8	ГОСТ ISO 898-2	0 °C (32 °F)
	См. [31], [32], группа прочности B7	*См. [33], [34],* группа прочности 2H	0 °C (32 °F)
	См. [35], [36], группа прочности L7	*См. [33], [34],* группа прочности 4/S3	–100 °C (–148 °F)
	См. [35], [36], группа прочности L43	*См. [33], [34],* группа прочности 7	–100 °C (–148 °F)
В присутствии сероводорода	*См. [31], [32],* группа прочности B7M	*См. [33], [34],* группа прочности 2H, группа прочности 2HM или группа прочности 7M	0 °C (32 °F)
	См. [35], [36], группа прочности L7M	*См. [33], [34],* группа прочности 2H, группа прочности 2HM или группа прочности 7M	–100 °C (–148 °F)
Примечание — Применение болтовых соединений, устойчивых к сероводородному растрескиванию, соответствующих *ГОСТ Р 53679, ГОСТ Р 53678*, *([31]* L7M и *[35]* L7M), *ПНСТ 485 [34]* L7M, не требуется для райзеров, разработанных для работы в присутствии сероводорода, если болты используют в среде, которая не допускает концентрации H_2S. Возникновение концентрации H_2S возможно из-за термоизоляции, фланцевых протекторов или некоторых конструктивных особенностей. Проектировщик должен учитывать, что болтовые соединения, соответствующие *ГОСТ Р 53679, ГОСТ Р 53678,* имеют пониженную прочность на растяжение.			

Водородное охрупчивание, усталостные свойства и пластическая деформация при длительных напряжениях должны быть приняты во внимание там, где это применимо.

Если вследствие требований к коррозионным свойствам или по другим причинам требуется применение другого материала для болтовых соединений, материал должен быть выбран в соответствии с общими требованиями, приведенными в настоящем стандарте. Особое значение имеют требования, приведенные в таблице 15.

Твердость болтов из углеродистой и/или низколегированной стали должна быть ниже, чем 350 HV10.

Болтовые соединения из углеродистой и/или низколегированной стали должны иметь гальваническое или горячее покрытие цинком или аналогичную защиту от коррозии. Цинкование горячим способом должно соответствовать *ГОСТ 9.307*. После гальванического или горячего цинкования должна быть выполнена сушка.

Для применения в подводных условиях необходимо подтвердить, что возможное растворение цинкового слоя не приведет к значительной потере предварительного натяжения болта.

7.3.5 Блок плавучести с наполнителем из синтактической пены

Тип и качество материалов должны подбираться для обеспечения необходимой выталкивающей силы на протяжении предусмотренного срока службы с учетом прогнозируемого снижения плавучести.

Плавучесть синтактической пены со временем снижается в результате абсорбции воды. Скорость потери плавучести (вследствие абсорбции воды) обратно пропорциональна прочности (и плотности) синтактической пены. Как правило, более тяжелые и жесткие пенистые материалы применяют на больших глубинах и/или при более продолжительном периоде эксплуатации.

Поставщики синтактических пористых материалов предоставляют детальную информацию о поведении синтактических материалов различной плотности на разных глубинах, а также данные экстраполяции, которые позволяют прогнозировать снижение выталкивающей силы на протяжении срока использования. Выбор специальных синтактических материалов следует обосновывать результатами испытаний.

7.4 Изготовление и поставка

7.4.1 Общие положения

Поставщик должен обеспечить наличие системы контроля качества, включая привлечение квалифицированного персонала и определение областей ответственности.

Должна быть обеспечена идентификация материалов на всех этапах изготовления.

В процессе изготовления должно быть обеспечено соблюдение допусков геометрических размеров и значений шероховатости поверхности, установленных при проектировании райзерной системы З/РС.

Все дефекты конструктивных компонентов и узлов должны быть устранены до того, как к ним будет ограничен доступ или они будут окрашены или покрыты защитным материалом.

Изготовитель должен применять систему маркировки (нумерации) сварных швов для их идентификации на чертежах и использования в ссылках в технической документации.

Все детали, изготовленные сваркой, должны пройти термическую обработку.

Сварка не допускается в зонах выполнения обработки, предполагающей холодную деформацию.

7.4.2 Технологические процедуры сварки

Технологические процедуры сварки должны быть разработаны в соответствии с требованиями *[37], [38], [39].*

7.4.3 Аттестация процедур сварки

Аттестация процедур сварки изделий из стали должна быть выполнена в соответствии с требованиями *ГОСТ Р ИСО 15609-1 — ГОСТ Р ИСО 15609-6, ГОСТ Р ИСО* 15607*, [37], [38], [39].*

Механические испытания должны быть проведены в соответствии с требованиями *ГОСТ Р ИСО 15609-1 — ГОСТ Р ИСО 15609-6, [39]* или эквивалентных стандартов и дополнительными требованиями настоящего стандарта. Механические испытания должны включать испытания на растяжение, ударный изгиб по Шарпи, на изгиб и твердость сварных швов. Если применимо, следует проводить испытания на анализ механики разрушения (см. 7.2.10).

Контрольный сварной шов должен быть проверен на 100 % с обеих сторон и должна быть выполнена проверка на объемные дефекты методами неразрушающего контроля. Критерии допуска сварного шва должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 18.

7.4.4 Аттестация сварщиков и операторов сварочного оборудования

Аттестация сварщиков и операторов сварочного оборудования должна быть проведена в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 9606-1, ГОСТ Р ИСО 14732, [39]* или эквивалентными стандартами.

7.4.5 Сварочные материалы

Сварочные материалы должны соответствовать условиям применения в сочетании с основным металлом, процедурам сварки и обеспечивать формирование сварного шва с требуемыми механическими свойствами и коррозионной стойкостью в окончательном состоянии. Сварочные материалы

должны соответствовать признанным стандартам, таким как *ГОСТ Р ИСО 544*. Сварочные материалы следует выбирать таким образом, чтобы механические свойства металла сварного шва соответствовали технологической процедуре сварки.

Должны быть установлены требования к максимальному содержанию водорода в металле сварного шва. При выборе сварочных материалов следует учитывать их коррозионные свойства и механические свойства после термообработки.

Для условий эксплуатации в присутствии сероводорода химический состав сварочных материалов должен соответствовать требованиям *ГОСТ Р 53679* и *ГОСТ Р 53678*. Применение для кольцевых сварных швов сварочных материалов, которые формируют шов с содержанием Ni более чем 1 %, допустимо после подтверждения их применимости результатами испытаний на сероводородное растрескивание под напряжением в соответствии с *ГОСТ Р 53678—2009 (приложение В)*.

Должно быть обеспечено хранение и обращение сварочных материалов в соответствии с установленными требованиями.

7.4.6 Формовка заготовок

Формовка пластин, труб и т. п. должна быть проведена в соответствии с процедурами, определяющими последовательность технологического процесса и его контроля.

Если при изготовлении используют процессы холодной деформации, должна быть рассмотрена необходимость проведения испытаний на последеформационное старение. Такие испытания должны быть выполнены в обязательном порядке, если общая деформация превышает 5 %.

Процессы изменения формы в горячем состоянии должны быть выполнены в границах значений минимальных и максимальных температур, предусмотренных для термообработки стали после сварки.

После завершения технологического процесса должны быть достигнуты заданные механические свойства изделия.

7.4.7 Получение изделий, идентификация и прослеживаемость

Все изделия подлежат проверке непосредственно после получения. Должна быть проведена проверка номенклатуры и количества изделий. Изделия с наличием повреждений должны быть отчетливо промаркированы и отделены от остальных.

Должна быть проведена проверка изделий на наличие механической крошки, обломков и других загрязнений. Изделия должны быть полностью очищены перед сборкой. Используемый метод очистки не должен приводить к повреждению внутреннего покрытия.

Для всех изделий должна быть разработана система, которая обеспечивает их правильную установку и прослеживаемость сертификатов. Идентификация изделий должна сохраняться при их перемещении, хранении и в процессе технологических операций.

Система прослеживания секций райзера должна быть использована для формирования документации по номерам сварных швов, протоколам неразрушающего контроля, нумерации труб, соединителей, деталей (если применимо), длине секций и идентификаторам ремонтных работ. Система должна выявлять дублирующие записи. Отдельные секции должны быть маркированы в соответствии с установленной системой отслеживания секций райзера с использованием краски, подходящей для применения в морских условиях.

7.4.8 Резка

При термической резке особое внимание следует уделять локальным воздействиям, влияющим на свойства материала, и возможному обогащению поверхностного слоя углеродом. Может потребоваться предварительный нагрев зоны разреза. Загрязнение углеродом должно быть удалено посредством шлифования поверхности изделия.

7.4.9 Подготовка к сварке и сборка под сварку

Перед сваркой должны быть удалены прокатная окалина, ржавчина и т. д., кромка под сварку должна быть сухой и чистой. Свариваемая конструкция должна быть проверена перед выполнением сварки. Значения зазора между свариваемыми кромками и радиальное смещение должны соответствовать процедуре сварки.

Трубы и свариваемые компоненты должны быть закреплены таким образом, чтобы исключить возникновение избыточных напряжений в сварных швах в результате усадки при сварке.

Радиальные смещения и отклонения от перпендикулярности подготовленных под сварку торцов к оси трубы должны быть минимизированы, например посредством поворота трубы, пока не будет достигнуто наилучшее положение.

Для участков, чувствительных к циклическим нагрузкам, должны быть установлены жесткие требования к размерам торцов труб и допусков на сопряжение.

Максимальное смещение кромок по наружному диаметру не должно превышать 10 % от толщины тонкостенного элемента (но не более 3 мм). Большее значение несоосности может допускаться, если концы секций скошены посредством шлифовки или машинной обработки, с уклоном не выше 1:4, при обеспечении минимальной заданной толщины стенки трубы.

Допустимое отклонение от перпендикулярности подготовленных под сварку торцов к оси трубы должно быть указано для соединителей, привариваемых к трубам. Если не указано иное, максимально допустимое отклонение от перпендикулярности должно составлять 1,5 мм на длине нормируемого участка 300 мм.

7.4.10 Заводской контроль

Заводской контроль сварных деталей являются предметом согласования заказчика и изготовителя. Порядок проведения испытаний и оформление результатов должны соответствовать технологическим процедурами сварки, если не согласовано иное.

7.4.11 Выполнение сварочных работ

Все операции сварки должны быть выполнены в соответствии с технологической процедурой сварки.

Усиление сварного шва должно быть равномерным и плавно соединяться с основным материалом без значительных подрезов. Все сварные швы стыковых соединений труб должны быть с полным проплавлением.

Примечание — Качество корневого слоя для односторонних сварных швов оказывает значительное влияние на сопротивление усталости. Сварка вольфрамовым электродом в газовой среде является одним из методов, обеспечивающих хорошее сопротивление усталости сварного шва.

7.4.12 Термическая обработка после объемной штамповки и сварки

Термическую обработку следует выполнять в соответствии с документально оформленной процедурой, которая описывает критические параметры технологических режимов.

Используемые при термической обработке оборудование, процедуры мониторинга и записи термического цикла должны соответствовать режиму термообработки.

Температуру следует измерять по толщине сварного шва, если иное не определено в принятой процедуре.

7.5 Визуальный и неразрушающий контроль

7.5.1 Общие положения

Методы неразрушающего контроля следует выбирать с учетом условий проведения, влияющих на чувствительность метода. Применимость метода для выявления дефектов оценивают с учетом свойств материала изделия, геометрии соединения и применяемой технологии сварки. Если методы неразрушающего контроля отличаются по существующим ограничениям применения и/или чувствительности, то может потребоваться использование нескольких методов для обеспечения требуемой вероятности обнаружения опасных дефектов.

Для выявления поверхностных дефектов изделий из ферромагнитных материалов предпочтительным методом является магнитопорошковая дефектоскопия в соответствии с *ГОСТ Р 56512*. Для определения поверхностных дефектов немагнитных материалов предпочтительным является капиллярный метод в соответствии с *ГОСТ 18442* или вихретоковая дефектоскопия в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 15549*. При проведении магнитопорошковой дефектоскопии должен быть использован люминесцентный порошок в виде суспензии.

Для определения внутренних дефектов необходимо применять метод ультразвуковой дефектоскопии в соответствии с *ГОСТ 24507* или радиографический метод в соответствии с *ГОСТ 7512*, *ГОСТ ISO 17636-1, ГОСТ ISO 17636-2*. Для повышения вероятности обнаружения дефекта или уточнения его параметров возможно последовательное применение обоих методов.

Метод ультразвуковой дефектоскопии, как правило, применяют при толщине обследуемого участка более 10 мм. При толщине менее 10 мм вместо ультразвуковой дефектоскопии может быть использован радиографический метод.

Радиографический метод является предпочтительным для определения объемных дефектов. При толщине обследуемого участка более 25 мм контроль радиографическим методом следует дополнить ультразвуковой дефектоскопией.

Метод ультразвуковой дефектоскопии является предпочтительным для выявления плоскостных дефектов. Если в процессе анализа усталости или механики разрушения необходимо определить высоту или длину дефекта, требуется проведение ультразвуковой дефектоскопии.

Если 100 % кованых изделий или изделий, изготовленных методом объемной штамповки, были подвергнуты неразрушающему контролю с использованием методов, позволяющих определять внутренние дефекты, проведение 100 %-ного контроля для выявления поверхностных дефектов необходимо только для изделий, подвергнутых механической обработке, таких как механические соединители.

Для определения дефектов можно использовать другие методы или сочетание методов, при наличии подтверждения, что они в состоянии обеспечить выявление дефектов в той же степени, что общепризнанные методы.

Поставщик должен представить на утверждение заказчику детальные процедуры визуального контроля и используемых методов неразрушающего контроля, включая процедуры калибровки используемого оборудования. Визуальный контроль и неразрушающий контроль компонентов райзера и его оборудования следует проводить в соответствии с требованиями стандартов, используемых при проектировании или изготовлении контролируемого изделия, с соблюдением установленных в них критериев допуска. Стандартные критерии допуска для плоскостных дефектов, используемые в признанных стандартах, следует оценить до начала испытаний с использованием оценки механики разрушения и/или оценки распространения усталостной трещины, а также критериев, приведенных в 7.5.4. В зависимости от проектных требований, должны быть применены самые жесткие критерии допуска.

Области, где в процессе сварки возникли значительные напряжения, направленные по толщине изделия, подлежат обязательному ультразвуковому контролю на наличие ламеллярных трещин.

Ультразвуковая дефектоскопия может быть проведена до окончательной машинной обработки.

Все результаты неразрушающего контроля должны быть надлежащим образом оформлены в виде протоколов с указанием идентификаторов, обеспечивающих определение исследованных областей на последующих стадиях.

7.5.2 Квалификация персонала

Персонал, выполняющий визуальный контроль, должен иметь квалификацию, соответствующую требованиям признанных стандартов, *например*, *ГОСТ Р ЕН 13018*.

Персонал, ответственный за выполнение неразрушающего контроля, должен быть сертифицирован на 3-й уровень в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 9712* или эквивалентным стандартом.

Операторы, осуществляющие неразрушающий контроль, должны быть сертифицированы на 2-й уровень в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 9712* или эквивалентным стандартом.

Персонал, сертифицированный на 1-й уровень, может осуществлять неразрушающий контроль под руководством персонала 2-го уровня.

Для операторов, осуществляющих контроль радиографическим методом без подготовки оценки результатов контроля, не требуется сертификация на 2-й уровень, но они должны иметь достаточный уровень подготовки проведения работ.

7.5.3 Визуальный и неразрушающий контроль сварных соединений

В процессе изготовления изделий сварные соединения подлежат обязательному визуальному и инструментальному неразрушающему контролю. Ко всем сварным соединениям следует применять следующие положения:

a) первым этапом неразрушающего контроля сварных соединений является визуальный контроль;

b) должен быть выполнен контроль наружной поверхности;

c) как правило, неразрушающий контроль сварных швов не должен быть выполнен до истечения 24 ч после завершения сварочных работ. Указанное время может быть уменьшено при условии использования процессов сварки с низким содержанием водорода, верификации процессов обращения сварочных материалов и реализации мер по снижению уровня содержания водорода в сварном шве, таких как термическая обработка сварных соединений;

d) если сварные соединения подвергают формовке или термообработке, неразрушающий контроль должен быть выполнен на сварном шве после завершения соответствующих технологических операций;

e) все сварные швы должны пройти 100 %-ный визуальный контроль и 100 %-ный контроль на наличие поверхностных и объемных дефектов с помощью применимых методов неразрушающего контроля;

f) критерии допуска для всех видов неразрушающего контроля должны соответствовать таблице 18;

g) протоколы неразрушающего и визуального контроля должны содержать информацию, обеспечивающую идентификацию проверенных областей и, при необходимости, повторного выполнения контроля. Протоколы должны идентифицировать все выявленные дефекты в основной зоне сварного шва и содержать заключение о соответствии сварного шва критериям допуска.

7.5.4 Критерии допуска для поверхностных дефектов сварного шва

Приведенные в таблице 18 критерии допуска применимы для поверхностных дефектов сварных соединений изделий из стали. Могут быть рассмотрены альтернативные критерии, обеспечивающие эквивалентный уровень качества.

Таблица 18 — Критерии допуска дефектов поверхности сварного шва

Тип дефекта	Критерий приемки
Трещины	Недопустимо
Несплавление и непровар	Недопустимо
Подрез	Максимальная глубина 0,3 мм (0,012 дюйма)
Поверхностная пористость или шлаковые включения	Недопустимо
Усиление сварного шва или внутренний выступ	Высота (гребень) усиления или внутреннего выступа сварного шва не должна быть ниже поверхности трубы и не должна выступать над основным металлом более чем на 1,5 мм (1/16 дюйма)
Шероховатость сварного шва	Поверхность сварного шва должна быть гладкой, без острых переходов
Несоосность	Максимальное смещение кромок по наружному диаметру не должно превышать 10 % от толщины стенки трубы, но не более 3 мм (0,12 дюйма)
Острые кромки	Максимальный радиус 2 мм (0,079 дюйма) для деталей с покрытием

Особое внимание следует уделять поверхностным или околоповерхностным дефектам в зоне корня сварного шва, которые могут возникать из-за неполного проплавления или недостаточного расплавления стенки одностороннего сварного шва. Эти зоны недоступны для визуального контроля или неразрушающего контроля поверхностных дефектов. Рекомендуется проведение ультразвуковой дефектоскопии с внешней стороны трубы для контроля корня сварного шва на наличие плоских дефектов.

7.6 Подтверждение процедур сборки (монтажа) и квалификация персонала

Сборку болтовых фланцевых соединений должен выполнять персонал, имеющий необходимую квалификацию на выполнение болтовых соединений с контролируемым натяжением.

Сборку и натяжение болтовых соединений необходимо выполнять в соответствии с документально оформленными процедурами, которые должны быть подтверждены в процессе испытаний в отношении достижения заданного минимального натяжения в соединении без превышения установленной нагрузки. Общие указания по сборке болтовых фланцевых соединений приведены в *[5]*.

Должна быть выполнена валидация сборочных узлов с болтовыми соединениями посредством проведения испытания опытного образца для подтверждения возможности применения процедур сборки и достижения требуемого натяжения без превышения установленных нагрузок.

8 Испытания

8.1 Общие положения

Раздел 8 устанавливает минимальные требования к испытаниям отдельных компонентов и системы райзера З/РС в целом.

8.2 Подготовка к испытаниям

Персонал поставщика и эксплуатирующей организации должен выполнить анализ процедур испытаний. Процедуры должны иметь ясные назначения/цели, описывать метод, посредством которого должны быть получены необходимые результаты, и устанавливать четкие критерии их оценки. Испытания следует проводить в подходящем помещении, отвечающем требованиям безопасности, оборудованном необходимыми техническими средствами и калиброванными средствами измерений.

8.3 Испытания давлением

8.3.1 Общие положения

Каждая деталь или компонент, работающие под давлением, должны быть подвергнуты гидростатическим испытаниям.

8.3.2 Секции райзера

Все собранные секции райзера, включая усиленные соединения, гладкие соединения, натяжные соединения и т. д., должны быть подвергнуты гидростатическим испытаниям. Процедуры проведения таких испытаний должны соответствовать требованиям, установленным для уровня технических требований к изделию УТТ3, в соответствии с *ГОСТ Р 51365*, за исключением допустимости окраски и нанесения защитных покрытий на секции райзера до проведения испытаний.

Давление заводских гидростатических испытаний должно составлять 1,5 расчетного давления. Однако, если во время испытаний не устанавливают концевые заглушки, т. е. уплотнение концевых поверхностей трубы или секции обеспечивается специальным уплотнительным устройством, это должно быть учтено при выборе давления испытания. В этом случае пробное давление может быть меньше, чем 1,5 расчетного давления для соответствия требованиям таблицы 13.

Для труб и трубных муфт, изготовленных в соответствии с *ГОСТ ISO 3183, ГОСТ 31446* и *ГОСТ 32696*, дополнительные испытания давлением могут не требоваться при условии, что:

a) были выполнены заводские испытания давлением, равным не менее 1,5 расчетного давления;

b) трубы не подвергались влияющей на их прочность термической или механической обработке после заводских испытаний давлением.

8.3.3 Компоненты

Процедуры испытаний гидростатическим давлением для всех компонентов, работающих под давлением, за исключением секций райзера и соединителей секций райзера, должны соответствовать требованиям, установленным для уровня технических требований к изделию УТТ2 или УТТ3 в соответствии с *ГОСТ Р 51365*, за исключением возможности их окраски до проведения испытаний.

Для всех классов расчетного давления давление гидростатического испытания должно быть не менее 1,5 расчетного давления. Значения коэффициентов использования следует принимать в соответствии с таблицей 13.

Для компонентов, имеющих несколько отверстий или портов, испытания должны быть проведены отдельно для каждого отверстия или порта для подтверждения отсутствия внутренних перетоков.

Испытания газовой средой не являются обязательными. Тем не менее, при наличии требования со стороны заказчика испытания газовой средой должны быть проведены в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016* (подпункт 5.4.6), или документально оформленными техническими условиями поставщика.

8.3.4 Система управления заканчиванием/ремонтом скважин и оборудование гидравлической системы

Испытания гидростатическим давлением гидравлического оборудования системы управления, линий контроля давления, линий подачи химических реагентов и т. д. необходимо проводить в соответствии с *ГОСТ Р 71160—2023* (пункт 11.2.2).

8.4 Чистота гидравлических компонентов

Требования к частоте участков компонентов райзерной системы З/РС, включая систему управления заканчиванием/ремонтом скважины, которые подвергаются воздействию гидравлической жидкости системы управления, следует определять в соответствии с *ГОСТ 17216 (см. также [40], [41]).* Выбранный класс чистоты должен быть четко указан в технических условиях поставщика на компонент, и должен быть подтвержден во время испытаний системы и компонентов.

Стандартными являются *класс чистоты 8 в соответствии с ГОСТ 17216*, или 6B-F в соответствии с *[41],* или класс чистоты *10 в соответствии с ГОСТ 17216* или 8B-F в соответствии с *[41].*

8.5 Верификация

Поставщик должен завершить процесс проверочных испытаний для всех неапробированных компонентов, используемых в райзерной системе З/РС, или подготовить документы, подтверждающие их технические параметры при эксплуатации в заданных условиях.

Верификацию компонентов необходимо проводить в соответствии с применимыми стандартами и требованиями настоящего стандарта, как определено в таблице 2.

Верификация компонентов, не попадающих в область применения настоящего стандарта или других стандартов, должна быть проведена на основе согласованной программы верификации.

Процесс верификации должен включать следующие испытания, в применении к отдельному компоненту:

- гидростатические испытания или испытания газовой средой;
- циклические испытания на устойчивость к воздействию давления и температуры;
- испытания при максимальной нагрузке и сочетании нагрузок;
- функциональные испытания;
- испытания на усталостную долговечность;
- испытания на циклическую долговечность.

При проведении всех испытаний следует моделировать ожидаемые условия эксплуатации или более жесткие условия. Требования к квалификации соединителей приведены в приложении J.

8.6 Оборудование райзера и заводские приемо-сдаточные испытания

Перед отгрузкой райзерной системы З/РС поставщик должен выполнить полную серию испытаний для подтверждения надлежащего функционирования каждого компонента, как в отдельности, так и в составе системы. Эти испытания должны обеспечивать достижение следующих целей:

- подтвердить, что все изготовленные компоненты отвечают требованиям технического задания на проектирование;
- подтвердить, что отдельные компоненты могут быть собраны в окончательную конструкцию с использованием надежных инженерных технологий;
- подтвердить, что перед сборкой отдельных компонентов сборочные узлы прошли требуемую проверку и были проведены необходимые испытания;
- подтвердить взаимозаменяемость компонентов, целостность соединений и герметичность конструкции каждой секции собранного райзера З/РС в комплекте со стандартной концевой заглушкой изготовителя или соединительным устройством;
- подтвердить целостность соединений между собранными компонентами;
- подтвердить возможность соединения/разъединения интерфейсов сборочных узлов без снижения уровня целостности или надежности.

Подтвердить, что каждый работающий под давлением элемент был подвергнут гидростатическим испытаниям.

Должна быть проведена проверка шаблоном каждого компонента райзера с использованием шаблона, соответствующего требованиям 5.3. Проверке шаблоном также подлежат сборки, состоящие из двух или более компонентов.

8.7 Система управления заканчиванием/ремонтом скважины и заводские приемочные испытания

В состав заводских приемо-сдаточных испытаний должны входить функциональные испытания системы управления заканчиванием/ремонтом скважины. В процессе испытания должны быть выполнены действия, необходимые для пуска системы управления и активации ее функций. Как минимум, должны быть выполнены следующие действия:

- запуск системы управления;
- пуск системы подачи технического воздуха;
- активация питания электронного оборудования;
- запуск гидравлической системы;
- проверка работы аккумуляторной системы;
- проверка аварийного останова работ;
- проверка работы расходомера;
- проверка работы инструмента для спуска и свинчивания соединителя;
- проверка функций системы управления;
- проверка резервных систем;
- гидростатические испытания.

8.8 Комплексные испытания системы

Комплексные испытания системы райзера проводят с целью подтверждения корректности сборки и функционирования системы в целом.

Состав испытаний зависит от наличия подводной фонтанной арматуры, колонных головок, противовыбросового превентора и трубной головки. Если указанное оборудование недоступно, испытания могут проводить с применением испытательного стенда, имитирующего интерфейсы оборудования, которые могут использовать для контроля герметичности/работоспособности сопряжения.

Должна быть проведена проверка корректности реализации функций (например, клапанов, соединителей), управляемых системой управления заканчиванием/ремонтом скважины.

Кроме того, вследствие ограничений по высоте сборки комплексное испытание можно выполнять поэтапно, т. е. нижний узел-превентор райзера, усиленное соединение райзера и модуль экстренного отсоединения. При наличии возможности должно быть выполнено испытание системы в сборе, включая усиленное соединение и ПФА.

При проведении комплексных испытаний должны быть выполнены испытания давлением для проверки герметичности уплотнений между сопрягаемыми компонентами. Давление испытания должно быть равно расчетному давлению системы.

После удовлетворительного завершения испытаний компонентов и заводских приемо-сдаточных испытаний должны быть проведены следующие испытания райзерной системы З/РС, которые по согласованию с заказчиком могут быть включены в состав заводских приемо-сдаточных испытаний:

a) интерфейс нижнего узла-превентора райзера с ПФА:
   1) нижний узел-превентор райзера должен быть установлен на ПФА для подтверждения соответствия геометрических размеров и функционирования;
   2) должны быть выполнены испытания давлением нижнего узла-превентора райзера в соединении с ПФА для подтверждения герметичности образуемого канала;
   3) должны быть проведены все применимые испытания функций ПФА и нижнего узла-превентора райзера;
   4) должны быть выполнены проверки шаблоном, соответствующим требованиям 5.3, эксплуатационного и затрубного каналов нижнего узла-превентора райзера в соединении с ПФА. Дополнительно, если используют пробки, они также должны быть проведены через нижний узел-превентор райзера и ПФА для подтверждения надлежащего функционирования;

b) сопряжение усиленного соединения с нижним узлом-превентором райзера:
   1) усиленное соединение с соединителем модуля экстренного отсоединения должно быть установлено на ППВО К/ГТ для подтверждения соответствия геометрических размеров и функционирования;
   2) должно быть выполнено испытание давлением усиленного соединения в сборе с модулем экстренного отсоединения для подтверждения герметичности сформированного канала;
   3) должно быть выполнено испытание модуля экстренного отсоединения в сборе с усиленным соединением и ППВО К/ГТ шаблоном, соответствующее требованиям 5.3;
   4) должно быть выполнено моделирование различных углов относительного расположения в процессе соединения и разъединения для проверки надлежащего функционирования модуля экстренного отсоединения в условиях нагружения райзера. Интерфейс должен быть испытан давлением до и после отсоединения;
   5) уплотнения и уплотнительные поверхности должны быть тщательно проверены после отсоединения модуля экстренного отсоединения;

c) интерфейс колонны для спуска с трубной головкой или ПФА:
   1) должно быть выполнено испытание давлением колонны для спуска, соединенной с трубной головкой, с целью контроля герметичности сформированного канала;
   2) должна быть выполнена проверка всех функций колонны для спуска;
   3) должна быть верифицирована используемая система ориентации трубной головки;
   4) должна быть выполнена проверка шаблоном, соответствующим требованиям 5.3, колонны для спуска в соединении с трубной головкой.

Должна быть выполнена верификация системы управления заканчиванием/ремонтом скважины во взаимодействии с управляемым оборудованием, в результате которой должно быть подтверждено, что:

- все линии системы управления соединены корректно;

- любая управляющая логическая схема (например, последовательность останова) реализуется в соответствии с установленными требованиями.

8.9 Испытание системы давлением

Комплексное испытание райзерной системы давлением или испытание в полевых условиях должно быть выполнено до начала эксплуатации для подтверждения герметичности райзера. Пробное давление должно быть минимальным расчетным давлением для райзерной системы.

9 Маркировка, упаковка, хранение и транспортирование

9.1 Секции райзера

9.1.1 Общие положения

Требования раздела 9 распространяются на следующие компоненты: секции райзера, гладкое соединение, натяжное соединение, усиленное соединение, колонна для спуска и т. п.

9.1.2 Консервация

После испытаний давлением и перед размещением на хранение или отгрузкой должны быть выполнены очистка, сушка и консервация секций райзера в соответствии с техническими условиями поставщика.

Все концевые соединители должны быть закрыты предохранительными крышками.

Поврежденные участки покрытия должны быть отремонтированы перед размещением на хранение и отгрузкой в соответствии с техническими условиями поставщика.

9.1.3 Отдельно поставляемые уплотнения и кольцевые прокладки

Поставляемые отдельно уплотнения, стыковочные переводники и кольцевые прокладки должны быть помещены в отдельные ящики и упакованы для отгрузки или хранения.

9.1.4 Контроль старения эластомеров

Поставщик должен предоставить инструкции, определяющие требуемые условия хранения, процедуры контроля старения и защиты эластомеров.

9.1.5 Гидравлические системы

Все гидравлические порты и линии, установленные в секции райзера, должны быть промыты и заполнены в соответствии с техническими условиями поставщика. Внешние гидравлические концевые фитинги должны быть закрыты заглушками.

9.1.6 Электрические системы

Поставщик должен предоставить инструкции, определяющие правила хранения электрических кабелей и соединителей.

9.1.7 Размещение

Все секции райзера должны храниться или отгружаться в корзинах, контейнерах или на стеллажах.

Конструкция корзин, контейнеров или стеллажей должна соответствовать следующим требованиям:

a) должны быть обеспечены прочная опора и надежное закрепление секций райзера;

b) должна быть обеспечена возможность снятия защитных крышек райзерных секций для проведения обследования;

c) максимальный вес секции райзера не должен превышать грузоподъемность палубных кранов судна;

d) корзины, контейнеры и стеллажи должны быть сертифицированы для использования в морских условиях в соответствии с требованиями нормативных документов;

e) в комплекте должны быть поставлены специальные подъемные стропы *соответствующей грузоподъемности*, сертифицированные для использования в морских условиях в соответствии с требованиями нормативных документов;

f) должны быть предусмотрены проушины *соответствующей грузоподъемности* для проведения крановых операций в морских условиях, они должны иметь ясно различимую маркировку **«ТОЛЬКО ДЛЯ МОРСКОГО РАСКРЕПЛЕНИЯ»**.

9.1.8 Маркировка

Секции райзера, соответствующие требованиям настоящего стандарта, должны иметь маркировку «*ГОСТ Р 71205—2024*».

Секции райзера должны иметь устойчивую маркировку, включающую:

a) название или торговую марку поставщика;

b) номер детали изготовителя;

c) серийный номер поставщика;

d) дату изготовления;

e) рабочее (номинальное) давление;

f) расчетную температуру;

g) условия эксплуатации (изделия, предназначенные для эксплуатации в средах, содержащих сероводород, должны иметь соответствующую маркировку с указанием на соответствие *ГОСТ Р 53679* и *ГОСТ Р 53678*).

Кроме того, секции райзера должны иметь порядковый номер или серийный номер, позволяющий осуществлять мониторинг секций в течение срока службы. Такая маркировка должна легко определяться судовым персоналом визуально или с помощью электронного считывающего устройства.

9.2 Компоненты

Требования к отгрузке и хранению оборудования и компонентов, за исключением системы управления заканчиванием/ремонтом скважин, труб райзера, секций райзера, гладких соединений, натяжных соединений, усиленных соединений, колонн для спуска и т. п., должны соответствовать требованиям *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 (подраздел 5.6)*.

Там, где применимо, маркировка должна соответствовать требованиям *ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016 (подраздел 5.5)*.

9.3 Система управления ремонтом скважины и гидравлическое оборудование

Требования к отгрузке и хранению для системы управления заканчиванием/ремонтом скважин и связанного с ней оборудования должны соответствовать требованиям *ГОСТ Р 71160—2023 (раздел 12)*.

Там, где применимо, маркировка должна соответствовать требованиям *ГОСТ Р 71160—2023 (подраздел 12.1)*.

10 Эксплуатация, обследование, техническое обслуживание, повторная оценка состояния и мониторинг

10.1 Общие положения

Эксплуатация, техническое обслуживание и обследования райзера должны обеспечивать поддержание необходимого уровня безопасности в течение расчетного срока службы райзера.

10.2 Обследование и техническое обслуживание

10.2.1 Общие положения

Должны быть предусмотрены работы по плановому обследованию райзера и систем управления.

Для райзеров и компонентов райзера может потребоваться контроль следующих зон:

a) компоненты колонны райзера, подвергшиеся воздействию избыточной нагрузки и/или имеющие остаточную деформацию;

b) участки с наличием усталостных трещин (например, кольцевые сварные швы, соединители, сварные швы в местах крепления анодов);

c) участки с выявленными утечками (обусловленными ослаблением механических соединителей, повреждением кольцевых уплотнений);

d) участки с признаками повреждения, например наличием вмятин, царапин, отслоений или сильного коробления покрытия;

e) участки с признаками внутреннего и наружного износа;

f) участки с внутренними и наружными коррозионными повреждениями (например, кольцевые сварные швы, уплотнительные поверхности);

g) противокоррозионные/противоабразионные покрытия;

h) электрохимическая защита;

i) участки с признаками значительного биологического обрастания.

Поставщик должен определить вид и периодичность контроля.

Поврежденные, отремонтированные детали, участки, особенно подверженные риску повреждения, а также детали, повреждение которых может привести к значительным негативным последствиям, должны быть объектами особого внимания при планировании обследования и технического обслуживания в процессе эксплуатации.

10.2.2 Определение периодичности обследования

При определении периодичности проведения обследования необходимо принимать во внимание следующие факторы:

a) последствия наступления отказов;

b) наличие поврежденных и/или отремонтированных деталей, участков, особенно подверженных риску отказа;

c) требования к периодичности обследования, устанавливаемые на основе критериев, представленных в настоящем пункте;

d) фактическое состояние райзера и эксплуатационные данные, например возраст, результаты предыдущих обследований, изменения расчетных или рабочих условий или значения нагрузок, сведения о предыдущих повреждениях и ремонтах;

e) наличие резервирования;

f) конструкция райзера и регион эксплуатации, например эксплуатация в глубоководных условиях, применение новой конструкции с небольшим опытом эксплуатации.

Приведенные в таблице 19 значения продолжительности периодов между обследованиями не допускается превышать, за исключением случаев, когда такое превышение обосновано имеющимся практическим опытом эксплуатации райзера или результатами инженерного анализа. Согласование изменения периодичности обследования, основанной на рекомендациях 10.2.2, должно быть оформлено документально и находиться на хранении у оператора.

Должно быть проведено обследование райзера на наличие усталостных трещин в соответствии с 6.4.9.

Таблица 19 — Вид и периодичность проведения обследования

Компонент	Вид обследования	Периодичность
Зоны с известными или возможными повреждениями	В зависимости от фактических условий	После возникновения проектного события
Компоненты, извлеченные на поверхность	В соответствии с рекомендациями поставщика	После отсоединения

Расходные изделия (например, уплотнения), периодически отсоединяемые компоненты, участки, имеющие смазку и/или окраску, подлежат обследованию или замене/ремонту в соответствии с графиком. На стадии проектирования должны быть предусмотрены решения по выполнению требуемых операций технического обслуживания. Предоставляемая поставщиком документация должна содержать сведения о составе и периодичности работ по техническому обслуживанию райзера.

10.3 Повторная оценка райзеров

Находящийся в эксплуатации райзер должен проходить оценку для подтверждения соответствия установленным требованиям, если имеют место одно или несколько из следующих условий:

a) проводят увеличение расчетного срока службы за пределы установленного проектного срока службы;

b) произошло повреждение или износ компонентов райзера;

c) произошло изменение условий эксплуатации, влияющее на исходные расчеты или основы предшествующей оценки целостности;

d) изменились данные, принятые в качестве исходных для проектирования, например:

- изменение условий окружающей среды или места расположения;
- замена судна, с которого выполняют работы;
- изменение параметров внутренних флюидов;
- изменение верхнего натяжения.

Для оценки эксплуатируемых райзеров следует использовать самую последнюю информацию о райзере.

10.4 Мониторинг

Должна быть сформирована программа регистрации фактических параметров работы и мониторинга усталости, отражающая продолжительность работ и состояние моря для каждого режима работы райзера. Эту информацию в сочетании с результатами анализа усталости и анализа механики разрушения следует использовать для определения необходимости проведения обследования секций райзера.

Внешние условия и условия внутри райзера в процессе его эксплуатации следует постоянно контролировать для подтверждения корректности принятых при проведении расчетов исходных парамтеров. Такой мониторинг должен включать регистрацию воздействий на райзер и его натяжение, а также состав, давление и температуру содержимого райзера.

Система мониторинга состояния райзера З/РС не является обязательной в соответствии с требованиями настоящего стандарта, но может быть полезной для обеспечения и поддержания требуемого натяжения, текущего контроля динамических характеристик райзера и для верификации проекта. Система мониторинга райзера также может быть использована для оценки накопленных усталостных повреждений райзера, оптимизации позиционирования судна и определения остаточного ресурса райзера.

11 Документация

11.1 Назначение

Раздел 13 определяет требования к документации, которую поставщик должен подготовить для передачи заказчику.

11.2 Общие положения

Должна быть подготовлена документация, достаточная для подтверждения соответствия райзерной системы, включая оборудование и компоненты, требованиям настоящего стандарта.

Документация на выполненные работы должна быть, насколько это применимо, конкретной, четкой, воспроизводимой, доступной, лаконичной, в нее следует включать значимую информацию, относящуюся к основным этапам жизненного цикла райзерной системы З/РС (т. е. проектирование, изготовление, производство, эксплуатация, хранение). При подготовке документации также должны быть учтены требования 4.16.

Проектная документация должна включать указания на использованные методы расчетов, принятые при проектировании допущения, результаты расчетов и требования к проектированию. Требования к проектированию должны включать как минимум критерии выбора размеров, нагрузки и их сочетания, включая предварительное нагружение, технологические допуски, шероховатость поверхности уплотнений, требования к материалам, параметры окружающей среды и другие применимые требования, учитываемые при проектировании.

Поставщик должен обеспечить заказчику доступ к следующим документам с учетом стадии проекта:

a) исходные данные для проектирования: до начала работ по проектированию райзера;

b) результаты анализа проекта: до изготовления компонентов райзера;

c) описание технологии изготовления: до изготовления компонентов райзера;

d) исполнительно-техническая документация: в составе поставки;

e) сводная проектная и производственная документация: в составе поставки;

f) руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию: перед поставкой.

Пользователь/оператор должен поддерживать документацию в надлежащем состоянии в процессе эксплуатации райзера.

11.3 Исходные данные для проектирования

Исходные данные для проектирования должны быть подготовлены на начальном этапе процесса проектирования для документального оформления основных требований и критериев, используемых в проекте райзерной системы З/РС. Документация должна отражать требования настоящего стандарта, технические требования заказчика (см. также приложение F) и технические требования поставщика. Ниже приведено типовое содержание исходных данных для проектирования:

a) общее описание райзерной системы;

b) общие проектные требования;

c) применимые нормы, стандарты и правила;

d) функциональные требования и эксплуатационные требования;

e) параметры флюида внутри райзера, включая расчетное давление, расчетную температуру и плотность флюида;

f) гидрометеорологические условия эксплуатации;

g) параметры судна, с которого будут выполнять работы;

h) требования к интерфейсам;

i) технические характеристики оборудования/компонентов (например, прочность на растяжение при расчетном давлении);

j) выбор материалов, включая необходимость защиты от коррозии;

k) основные принципы диагностики и технического обслуживания;

l) сочетания нагрузок для всех возможных временных и эксплуатационных расчетных условий;

m) критерии проектирования для возможных режимов отказа;

n) процедуры выполнения анализа проекта, включая перечень основных анализируемых параметров;

o) описание предохранительных соединений (слабых звеньев), включая обоснования необходимости их использования.

11.4 Анализ проекта

11.4.1 Размеры труб, включая технические характеристики труб и кольцевых сварных швов

Для труб и кольцевых сварных швов должны быть подготовлены как минимум следующие данные:

a) пояснения к условным обозначениям;

b) применимые нормы, стандарты и правила;

c) исходные данные для расчетов, включая:

- технические параметры материалов, в т. ч. предел текучести, прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве;
- расчетное давление и расчетная температура;
- коэффициент использования для расчета трубы на разрыв от действия внутреннего давления;
- диаметр шаблона и требуемые зазоры для его прохождения;
- овальность трубы и допуск на толщину стенки трубы;
- концентричность окружного сварного шва, максимальное смещение кромок по наружному диаметру для сопряжения труба/труба или труба/соединитель;
- высота наплавленного валика сварного шва;
- припуск на коррозию или другие применимые припуски;

d) расчет минимального внутреннего диаметра;

e) расчет минимальной толщины стенки по критерию разрыва от действия внутреннего давления;

f) выбор толщины стенки и наружного диаметра трубы;

g) конструктивная прочность трубы для отдельных нагрузок и значения предельных нагрузок (см. 11.5.1);

h) коэффициент концентрации напряжений в кольцевом сварном шве по внутреннему и наружному диаметру.

11.4.2 Общий анализ

В документацию по общему анализу системы райзера следует включать следующие элементы:

a) пояснительную записку, включающую обобщающую таблицу с результатами проверки основных компонентов на различные сочетания нагрузок и численными значениями;

b) пояснения к условным обозначениям;

c) применимые нормы, стандарты и правила;

d) введение, включая цель документа и краткое описание райзерной системы и каждого компонента с приложением чертежей;

e) исходные данные для проектирования, если они не выделены в отдельный документ (см. 11.3);

f) исходные данные для выполнения расчетов, включая параметры материалов, принятые допущения при проведении расчетов и использовании компьютерных программ;

g) регистрационные номера стандартов/рекомендаций/руководств, включая ссылки на использованные уравнения;

h) последовательность выполненных расчетов;

i) валидацию модели анализа (фактическое распределение натяжения, RAO перемещений судна и режим форма/характеристические значения);

j) расчеты общей длины, профиля и числа звеньев райзера;

k) расчеты опускания райзера после посадки;

l) схемы геометрических моделей, включая граничные условия;

m) ясное и четкое изложение результатов, в особенности ключевых результатов, и их оценка в свете режимов отказов и принятых при проведении анализа допущений. Должно быть представлено описание связи компонентов райзера и соответствующих видов отказов с приведением соответствующих иллюстраций;

n) граничные значения параметров для нормальных и экстремальных условий работы, проведения испытаний и аварийных ситуаций;

o) если применимо, расчетные нагрузки компонентов и сопряжений, например, нагрузки от райзера З/РС на ПФА и устье скважины, с указанием источников данных и принятых допущений;

p) принятые допущения в отношении условий погрузочно-разгрузочных работ, обследования и технического обслуживания райзерной системы в процессе эксплуатации.

11.4.3 Чертежи

Для изготовления и сборки райзерной системы должны быть подготовлены чертежи, включая:

a) планы судна с указанием участков размещения райзера;

b) рабочие чертежи райзера.

11.5 Документация на соединители

11.5.1 Сводный отчет о технических характеристиках

Должен быть подготовлен сводный отчет о технических характеристиках для каждого соединителя райзерной системы З/РС. Отчет должен содержать, если применимо, следующую информацию:

a) описание работы соединителя с перечислением конструктивных особенностей и преимуществ конфигурации резьб, уплотнений, упорных торцов и корпуса, включая описание схемы передачи осевых и изгибающих нагрузок в соединении и системы фиксации (блокировки). Примерами систем блокировки являются резьбовые фиксаторы, фрикционный стопор, фиксирующий кулак, шариковый фиксатор, фланцевые и механические фиксаторы;

b) критерии проектирования со ссылками на применимые нормы, стандарты и правила в отношении:

- прочности и герметичности для нагрузок при нормальных и экстремальных условиях работы, проведении испытаний и аварийных ситуациях с учетом минимальных заданных значений прочности/предварительного нагружения;

- предохранительных разрушаемых соединений (слабых звеньев) при максимальных заданных значениях прочности;

- максимальных значений циклов напряжений, т. е. коэффициентов концентрации напряжений/распределения напряжений для оценки усталости;

c) геометрические размеры соединителя, включая допуски, шероховатость и вид обработки уплотнительных поверхностей, массу, свойства материалов, маркировку соединения, ссылки на чертежи и спецификации материалов;

d) схему поперечного сечения соединения, показывающую наиболее слабые (ограничивающие) элементы (планы) или компоненты в отношении таких воздействий, как растяжение, сжатие, внутреннее давление, внешнее давление, изгиб, кручение и сдвиг, где применимо. Также необходимо выделить участки с максимальными значениями циклов напряжений;

e) информацию о конструктивной несущей способности соединителя, об ограничениях по разъединению предварительно нагруженных поверхностей и целостности (герметичности) уплотнения для отдельных нагрузок вследствие сжатия, внутреннего давления, внешнего давления, изгиба, кручения и сдвига;

f) диапазоны нагрузок или диаграммы сопротивления, определяющие различные сочетания нагрузок, температур и предварительного нагружения, которые влияют на целостность (герметичность) уплотнения и пределы конструктивной несущей способности при нормальных и экстремальных

условиях работы, проведении испытаний и аварийных ситуациях в дополнение к диапазону нагрузок слабого звена и ограничений по разъединению предварительно нагруженных поверхностей;

g) документацию по фактическим нагрузкам, приведшим к нарушению герметичности или конструктивным разрушениям соединителя (осевое разъединение, разрушение или кольцевая потеря устойчивости), если такие данные доступны и сопоставимы с допустимыми нормативными нагрузками;

h) коэффициенты концентрации напряжений со ссылкой на размеры присоединенной трубы для сварных швов «труба — соединитель» и положения зон с наиболее высокими напряжениями в самом соединителе (при циклических нагрузках на болты, включая продольный изгиб). Если значения ККН изменяются в зависимости от нагрузки или предварительного нагружения, эти изменения должны быть отражены в документации. Также должны быть показаны коэффициенты концентрации напряжений, создаваемые соединителем в кольцевом сварном шве с трубой (как по внутреннему, так и по наружному диаметру) при отсутствии относительного смещения;

i) детальные параметры процедур свинчивания/развинчивания, включающие тип консистентной смазки, покрытия и способ нанесения, скорость свинчивания, значение крутящего момента при свинчивании, минимальные и максимальные значения крутящего момента при затяжке и потерю длины при свинчивании, максимально допустимое нарушение соосности при свинчивании соединения;

j) для соединителей модуля экстренного отсоединения и инструмента для спуска ПФА значения углов, приводящих к натяжению и отсоединению соединителей;

k) ссылки на выполненные проектные расчеты и результаты испытаний.

Сопротивление соединителя при сочетании нагрузок может быть установлено с использованием одного из следующих методов:

- диаграмм сопротивления (диапазон нагрузок);
- эллипса сопротивлений, учитывающего эквивалентное растяжение и значения внутреннего и внешнего давления;
- диапазона эквивалентных напряжений Мизеса.

Расчет диаграмм сопротивления или диапазона нагрузок должен быть проведен для соответствующих значений коэффициентов использования. Данный метод является предпочтительным для представления характеристик соединителя. Следует отметить, что два других метода оценки сопротивления соединителя дают консервативные значения сопротивления изгибающему моменту и их не рекомендуется использовать при получении оценки, учитывающей сопротивление трубы.

На рисунке 11 показана диаграмма сопротивления. В качестве альтернативы данной диаграмме сопротивления, сопротивление соединителя может быть представлено выражением, отражающим взаимное действие натяжения — момента — давления (T_e–M_{bm}), как показано в формуле

$$\left(\frac{T_e}{T_c} + \frac{M_{bm}}{M_c} + \frac{p_{int} - p_o}{p_{ec}}\right) \cdot \frac{1}{F_d} \le 1, \quad (29)$$

где T_e — эффективное натяжение, Н;

T_c — предел прочности на разрыв для отдельной нагрузки, Н;

M_{bm} — изгибающий момент, Н·м;

M_c — предельное сопротивление изгибу для отдельной нагрузки, Н·м;

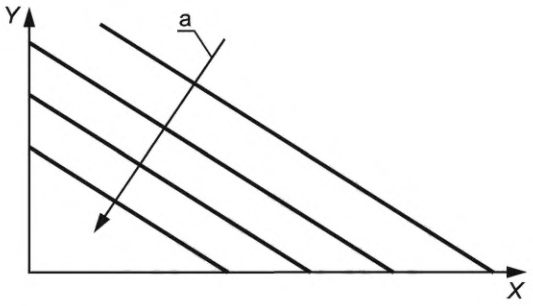
p_{int} — внутреннее давление в заданной точке, Па;

p_o — внешнее давление в заданной точке, Па;

p_{ec} — предельное сопротивление отдельной нагрузке от давления вследствие наличия концевой заглушки, Па;

F_d — коэффициент использования (см. таблицу 11).

Примечание — Примеры диаграмм сопротивления приведены в *[15], [16]* и *[17],* а для статических условий нагружения — в 6.6.7.



[a] Направление увеличения давления.

X — эффективное натяжение, T_e; Y — изгибающий момент M_{bm}

Рисунок 11 — Диаграмма сопротивления компонента

Необходимо учитывать, что может оказаться невозможным получить несколько выражений, отражающих различные воздействия, при простом линейном отношении нагрузок, как показано выше, из-за ограниченного диапазона применяемых параметров сопротивления.

11.5.2 Руководства по эксплуатации и техническому обслуживанию

11.5.2.1 Общие положения

Поставщик райзера должен подготовить руководства по эксплуатации и техническому обслуживанию, в состав которых должна быть включена информация, перечисленная в 11.5.2.

11.5.2.2 Описание оборудования

Для следующего оборудования должны быть подготовлены пояснительные записки, чертежи и схемы применения:

- соединители райзера, включая все его части;
- инструменты для перемещения райзера;
- инструменты для свинчивания, развинчивания и создания предварительной затяжки;
- протекторы соединителей райзера.

11.5.2.3 Рекомендации по эксплуатации соединителей

Должна быть представлена следующая информация:

- описание инструмента для перемещения соединителя и его сопряжения с соединителем;
- детальная процедура свинчивания и развинчивания соединителя, включая, если применимо, процедуру создания предварительной затяжки.

11.5.2.4 Инструкции по техническому обслуживанию

Должна быть предоставлена следующая информация:

- график планового технического обслуживания;
- примеры форм, заполняемых при техническом обслуживании, или контрольные листы (карты), если необходимо;
- регистрационные журналы для внесения записей по суммарному использованию каждого соединителя райзера;
- инструкции по хранению и программа замены резиновых изделий, эластомеров и других расходных материалов;
- перечень смазочных материалов, ингибиторов коррозии и т. п.;
- процедуры и программа проведения контроля трещин от усталостного разрушения. Поставщик должен определить участки с высокими напряжениями, подлежащие обязательному контролю.

11.6 Изготовление и поставка

Перед началом или в процессе производства труб, компонентов, оборудования, конструктивных и других элементов должна быть подготовлена следующая информация:

a) технические условия на материалы и изготовление;

b) технические условия на технологию изготовления;

c) план обеспечения качества;

d) спецификации технологии сварки/квалификационная документация на технологию сварки, если применимо;

e) процедуры неразрушающего контроля;

f) технологические карты;

g) руководства изготовителя и поставщика в области системы обеспечения качества.

11.7 Исполнительная документация

Исполнительная документация должна включать, как минимум :

a) номер заказа на поставку;

b) описание оборудования;

c) ссылки на технические условия и чертежи;

d) сертификаты материалов;

e) результаты контрольных измерений размеров;

f) результаты заводских приемо-сдаточных испытаний;

g) все отклонения, выявленные в процессе изготовления, и произведенные ремонты;

h) спецификации технологии сварки и аттестационная документация на технологию сварки;

i) акты аттестации сварщиков;

j) карту расположения сварных швов;

k) акты квалификации операторов неразрушающего контроля и акты результатов неразрушающего контроля;

l) протоколы испытаний термической обработки.

11.8 Сводная документация по проектированию и изготовлению

Сводная документация по проектированию и изготовлению должна быть подготовлена в качестве исходных данных для процедур эксплуатации райзера З/РС и программы периодического обследования. Сводная документация по проектированию и изготовлению представляет собой краткий обобщенный документ, содержащий наиболее важную информацию, используемую на этапах проектирования, изготовления и испытаний райзера. Сводная документация должна отражать фактическое состояние изделия после изготовления.

Сводная документация по проектированию и изготовлению должна содержать:

a) общее описание системы райзера З/РС;

b) краткий обзор информации, относящейся к стадиям проектирования и изготовления, включая распределение ответственности, установленные требования, процедуры верификации, выявленные отклонения, результаты рабочего проектирования, исходные данные для проектирования, критические области конструкции, с указанием ссылок на детализированную документацию;

c) рекомендации, требования и значимую информацию для процессов эксплуатации, обследования в процессе эксплуатации, хранения, оценки целостности и технического обслуживания на протяжении периода эксплуатации райзерной системы З/РС. Особое значение имеет информация, относящаяся к компонентам, подверженным усталостному разрушению, и к высокопрочным компонентам с большим коэффициентом использования.

11.9 Инструкции по монтажу и эксплуатации

Требования к процессам монтажа и эксплуатации должны быть документально оформлены в инструкциях по монтажу и эксплуатации райзера, которые должен разрабатывать проектировщик совместно с оператором. Инструкции должны определять технологию безопасного монтажа, эксплуатации и технического обслуживания райзера и его компонентов.

Инструкции должны содержать как минимум следующую информацию:

a) пошаговые процедуры проведения погрузочных работ, транспортирования, спуска/подъема, эксплуатации, консервации и хранения райзерной системы;

b) пошаговые процедуры отсоединения и вывешивания райзера;

c) эксплуатационные ограничения для каждого рабочего режима, указываемые поставщиком райзера. Ограничения следует представлять в табличной и/или графической форме или в виде программы управления райзером;

d) процедуры обследования и технического обслуживания для каждого компонента;

e) чертежи поставщика для компонентов райзерной системы с выделением критических размеров, массы и номеров деталей различных компонентов;

f) перечень рекомендуемых запасных частей.

Перед началом монтажа и/или эксплуатации должна быть подготовлена следующая информация:
- результаты анализа FMECA и HAZOP, выполненные оператором;
- технические спецификации и чертежи для монтажа и испытаний;
- руководство(а) по монтажу и эксплуатации райзера;
- процедуры действий при возникновении нештатных ситуаций;
- руководство подрядчика по обеспечению качества.

11.10 Сводная информация о техническом состоянии

Любые изменения в конструкции райзерной системы З/РС после изготовления должны быть отражены в эксплуатационной документации в виде сводной информации о техническом состоянии райзера. Сводную информацию о состоянии необходимо ежегодно обновлять.

Данные следует регистрировать в течение срока службы для анализа и документального подтверждения состояния райзера З/РС применительно к усталостному разрушению и обобщать в сводной документации. В состав сводной информации, как правило, рекомендуется включать последовательность установки секций, конфигурацию райзера, промысловые данные (глубина воды, давление, плотность флюидов и т. д.), данные судна, включая верхнее натяжение, продолжительность каждого режима эксплуатации в сочетании с волновыми условиями. Сводную информацию необходимо регулярно анализировать для оценки необходимости диагностики усталостных разрушений.

За подготовку и регулярное обновление сводной информации о техническом состоянии райзера несет ответственность организация, эксплуатирующая райзер.

11.11 Заполнение документации

Эксплуатирующая организация несет ответственность за поддержание эксплуатационной документации в актуальном состоянии в течение всего срока службы райзерной системы.

В состав технической и исполнительной документации должна быть включена как минимум проектная документация, производственная документация, документы по монтажу и вводу в эксплуатацию.

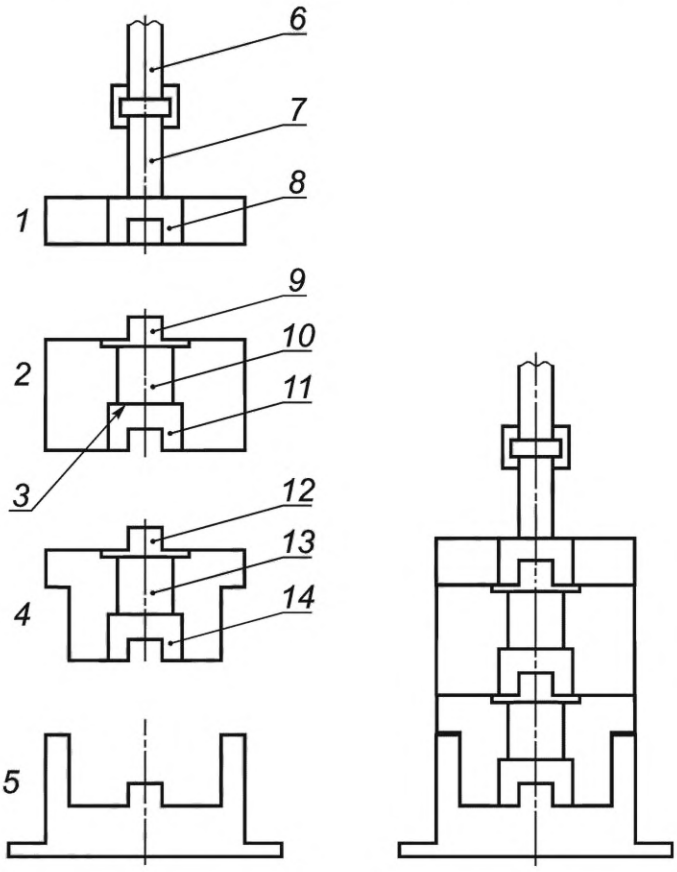
Техническую документацию должны обновлять эксплуатирующая организация или технический подрядчик в течение периода не менее 15 лет. Документация должна включать исходные данные для проектирования и основные данные по эксплуатации райзерной системы, которые должны обновляться в течение всего срока службы системы. Документация должна включать документы, относящиеся к этапам от начала проектирования до ввода райзера в эксплуатацию и, при наличии, документы о выполненном ремонте или реконструкции райзерной системы.

Документация, формируемая в процессе эксплуатации и технического обслуживания райзерной системы, должна как минимум включать отчеты об обследовании райзера с момента ввода в эксплуатацию, в том числе результаты регулярных и внеплановых обследований, отчеты о фактическом техническом состоянии, проведенном техническом обслуживании и ремонте.

Приложение А
(справочное)

Стандартизация сопряжения райзера З/РС (для ПФА вертикального типа)

Предложения по стандартизации интерфейсов для обеспечения возможности применения райзеров совместно с ПФА различного типа были разработаны в связи с развитием практики аренды райзерных систем З/РС и их совместного использования операторами проектов. Стандартизированное сопряжение располагается между верхней частью инструмента для спуска ПФА и нижней частью ППВО К/ГТ (см. рисунок А.1).



1 — модуль экстренного отсоединения; *2* — нижний узел-превентор райзера; *3* — предлагаемое стандартное сопряжение; *4* — подводная фонтанная арматура; *5* — устье скважины; *6* — усиленное соединение; *7* — катушка адаптер (для выравнивания относительно вертикальной оси); *8* — соединитель модуля экстренного отсоединения; *9* — катушка повторного ввода МЭО; *10* — ППВО для К/ГТ; *11* — инструмент для спуска ПФА; *12* — катушка повторного ввода ПФА; *13* — блок арматуры; *14* — соединитель ПФА

Рисунок А.1 — Расположение предлагаемого стандартного сопряжения райзера З/РС

В качестве интерфейса сопряжения рекомендуется использовать фланец с типоразмером 346 мм на давление 69,0 МПа, соответствующий требованиям *[12]*. В качестве устройства, обеспечивающего герметичность соединения, предусматривают использование стыковочной втулки с канавкой под уплотнение. Герметичность соединения обеспечивается основным уплотнением типа «металл к металлу» и дополнительным уплотнением из эластомера. Для изоляции стыковочных втулок от внешнего воздействия окружающей среды необходимо использовать специальное уплотнение. В качестве такого уплотнения рекомендуется использование прокладки типа BX, размещаемой в специальной канавке. Размер уплотнительной прокладки BX представлен в таблице А.1.

Таблица А.1 — Межцентровые расстояния каналов для сопряжения райзера и инструмента для спуска ПФА

Размеры проходного отверстия арматуры, мм × мм (МПа)	От центра отверстия до центра отверстия[a], мм	От центра большего отверстия до центра фланца[b], мм	От центра меньшего отверстия до центра фланца[c], мм	Размер фланца и прокладки BX, мм (МПа)
103 × 52 (34,5; 69,0)	127,0	41,28	85,72	346 (69,0), BX-158[d]
130 × 52 (34,5; 69,0)	136,52 (5,375)	47,62 (1,875)	88,9 (3,500)	346 (69,0), BX-159

[a] См. «A», рисунок А.2.
[b] См. «B», рисунок А.2.
[c] См. «C», рисунок А.2.
[d] Прокладку типа BX-158 используют для минимизации разъединяющей нагрузки.

В настоящее время в конструкции интерфейса предложено стандартизировать следующие два размера проходных отверстий: 127 × 50,8 мм, 69,0 МПа и 101,6 × 50,8 мм, 69,0 МПа. Предлагаемые межцентровые расстояния показаны на рисунке А.2 и приведены в таблице А.1.

Для обеспечения возможности использования райзера с ПФА различных производителей может потребоваться применение переходной катушки, поскольку конструкция стыковочных втулок, как правило, защищена патентами.

Возможно применение конструкции с другими межцентровыми расстояниями отверстий и их смещением от центра фланца. Рекомендуется, чтобы технические условия на любую новую систему райзера З/РС были согласованы с изготовителем для обеспечения соответствия размеров с действующими стандартами на интерфейсы.

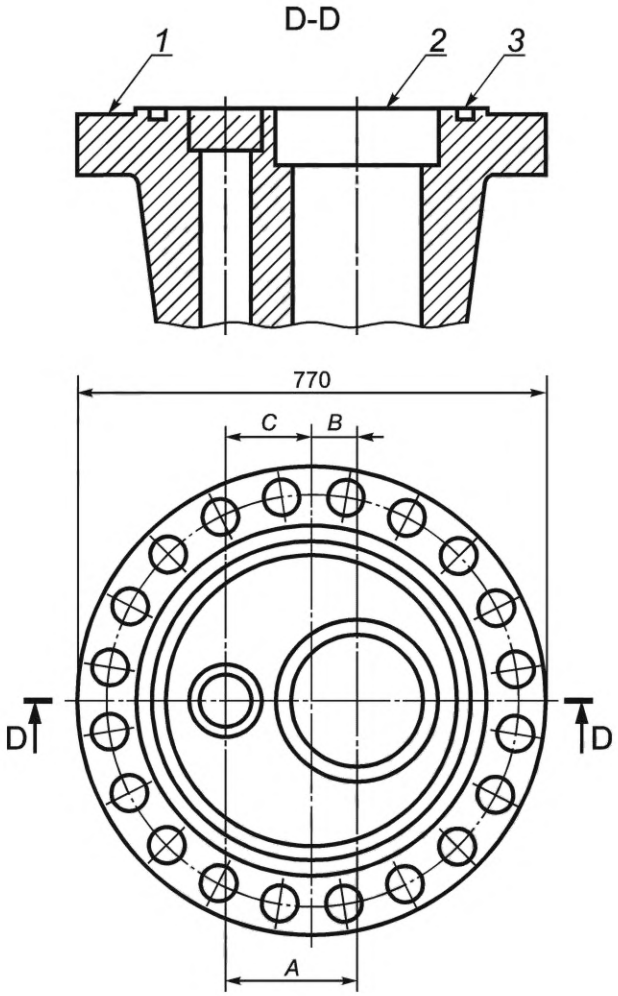
Использование предлагаемого стандартного интерфейса рекомендуется в следующих случаях:

a) напряжения от применимых сочетаний нагрузок, определенных в 6.3.3, не превышают конструктивную несущую способность (см. 11.5.1) предлагаемого фланца;

b) конструкция, изготовление и сборка предлагаемого фланца обеспечивает требуемый контакт «торец к торцу» при нагружении в нормальных условиях эксплуатации (см. 6.6.7).

Примечание — Уплотнительное кольцо BX 158, используемое в интерфейсе 101,6 × 50,8 мм, меньше, чем, как правило, используемое для фланца с типоразмером 346 мм, 69,0 МПа. Меньший размер уплотнения снижает разделяющую нагрузку, которая является критической для глубоководных условий эксплуатации райзера, где изгибающие нагрузки изначально значительные. Для интерфейса райзера 127 × 50,8 мм уплотнение BX 159 является наименьшим из возможных уплотнений.

Райзеры, в которых диаметры проходных каналов превышают диаметры проходных каналов в ПФА, могут быть использованы при условии обеспечения прохождения через райзер инструментов для проведения работ в скважине. Райзер с типоразмером 101,6 × 50,8 мм, 69,0 МПа может быть использован с ПФА 76,2 × 50,8 мм, имеющей такие же межцентровые расстояния для проходных каналов, как интерфейс данного райзера.



1 — фланец с типоразмером 346 мм — 69,0 МПа; *2* — размеры канавки под уплотнение должен указывать изготовитель; *3* — канавка под уплотнение типа BX; A, B, C — см. таблицу А.1

Рисунок А.2 — Предлагаемый стандартный интерфейс 364 мм — 69,0 МПа, 6BX

Приложение В
(справочное)

Режимы эксплуатации и общий анализ системы райзера

В.1 Введение

В приложении В приведено руководство по обслуживанию и эксплуатации системы райзера З/РС и выполнению общего анализа системы райзера с использованием специализированного программного обеспечения для выполнения расчетов методом конечных элементов.

В приложении F приведен типовой состав данных, необходимых для выполнения общего анализа системы райзера. Детальные рекомендации по проведению общего анализа райзера приведены в *[8].*

В.2 Режимы эксплуатации

В.2.1 Эксплуатация с ПФА

В.2.1.1 Размещение

В процессе размещения и перемещения секций райзера и натяжной рамы ПИФА необходимо учитывать конструктивную прочность изделий. Изготовитель должен определить требования к состоянию моря и допустимым смещениям судна, при которых указанные работы могут быть выполнены безопасно. Должны быть разработаны детальные процедуры, определяющие параметры внешнего вспомогательного оборудования, необходимого для выполнения работ (например, расположение и натяжение канатов лебедок, размещение манипуляторов бурового модуля, канатных грузозахватных приспособлений и т. д.).

В.2.1.2 Спуск и подъем

Спуск и подъем ПФА, как правило, включают следующую последовательность операций:

- спуск через зону заплеска;
- промежуточные этапы спуска;
- установка на устьевое оборудование.

Спуск модуля экстренного отсоединения, нижнего узла-превентора и подвешенной на райзере ПФА через зону заплеска и сквозь толщу воды может быть рассмотрен как особый случай вывешивания райзера. Вопросы, требующие особого контроля, как правило, связаны с возможным контактом райзера и элементов буровой установки (буровой шахты и крепления понтона) и допустимыми воздействиями на райзер. Рекомендуется максимально оперативно выполнить спуск модуля экстренного отсоединения, нижнего узла-превентора и ПФА за счет использования двух или более предварительно собранных секций райзера. Раскачивание спускаемой секции в буровой шахте может быть ограничено за счет использования в процессе спуска специальной направляющей системы шахты. Ограничения для внешних условий в процессе указанных операций должны включать требования к допустимой высоте и периоду волн и профилю течения.

В процессе спуска и до начала установки колонны райзера на устье обычной практикой является отвод судна в сторону от устья скважины для минимизации последствий в случае падения колонны райзера. Смещение в направлении, противоположном направлению преобладающего течения, минимизирует угол отклонения райзера при стыковке. Перед спуском райзера должны быть установлены ограничения для следующих параметров:

- максимальная допустимая скорость в момент контакта райзера с оборудованием;
- максимальные допустимые смещения судна;
- максимальный период повторяемости течения;
- максимальные допустимые параметры волн;
- максимальные значения веса при посадке райзера (т. е. минимальное натяжение райзера или максимальное сжатие в нижней части райзера);
- максимальные значения углов отклонения при посадке и соединении ПФА с устьевым оборудованием.

После посадки и соединения райзера следует по возможности быстро увеличить натяжение райзера до заданного рабочего значения.

В.2.1.3 Присоединенное состояние

Для эксплуатации присоединенного райзера в режиме работы с ПФА (режимы нормальной эксплуатации и режим заглушенной скважины) обычной практикой является определение эксплуатационных ограничений в зависимости от смещения судна и высоты волны.

Допустимые рабочие условия должны быть определены исходя из фактических сочетаний параметров течений, гидрометеорологических условий и параметров флюида в райзере. К факторам, которые могут влиять на допустимый диапазон рабочих условий, относят:

- допустимые уровни нагружения для рассматриваемого режима эксплуатации;
- параметры флюида внутри райзера, давление, плотность (масса) флюида или вес колонны инструмента;
- величина натяжения райзера;
- расстояние до конструктивных элементов судна (стенок буровой шахты, крепление понтона и т. д.);
- профиль течения;

- глубина воды;
- угол наклона устьевого оборудования;
- курс и перемещения судна.

В.2.1.4 Отсоединение

Отсоединение райзера может быть плановым или аварийным. При осуществлении планового отсоединения необходимо учитывать следующие факторы:

- требования к предварительному уменьшению натяжения райзера для исключения его резкого вертикального подъема и предотвращения возможного повреждения райзера или судна;
- требования к допустимому смещению судна для уменьшения угла наклона райзера перед отсоединением и исключения движения райзера по направлению расположенных на дне конструкций;
- необходимость подъема колонны райзера после отсоединения для предотвращения ее контакта с подводными конструкциями и морским дном.

Допустимые рабочие условия для планового отсоединения райзера аналогичны условиям, устанавливаемым для режима посадки и соединения райзера.

В режиме аварийного отсоединения должна быть выполнена следующая последовательность действий, включающая аварийный останов и непосредственно рассоединение:

- останов технологического оборудования на судне;
- закрытие запорной арматуры на подводном оборудовании и райзере;
- размыкание соединителей модуля экстренного отсоединения.

На срабатывание соединителей модуля экстренного отсоединения влияет действующий на них момент, обусловленный натяжением райзера и углом отклонения. После аварийного отсоединения райзер подлежит обследованию. Состав и объем работ в процессе контроля состояния райзера должен быть определен изготовителем.

В.2.1.5 Вывешивание

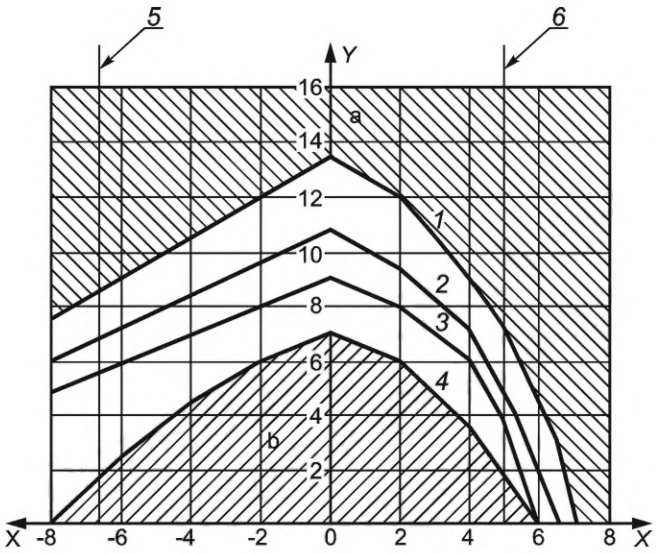
Когда райзер находится в подвешенном положении, смещение судна, как правило, не является определяющим параметром. Необходимо контролировать действующие нагрузки и возможный контакт райзера с судном.

Эксплуатационные ограничения для режима вывешивания райзера, как правило, представляются в форме областей рабочих режимов, зависящих от высоты и периода волны. При определении допустимых условий состояния моря необходимо учитывать следующие факторы:

- длина подвешенного райзера;
- метод вывешивания (т. е. свободное подвешивание на спайдере ротора или удержание с помощью штропов элеватора натяжной рамы ПИФА);
- курс и перемещения судна;
- состояние направляющих канатов (свободные или натянутые) или отсутствие направляющих канатов.

В.2.1.6 Допустимые рабочие условия

Используемой на практике формой представления результатов анализа райзера являются эксплуатационные ограничения (диапазон допустимых рабочих условий), которые должны быть четко определены и обозначены. Персонал должен обеспечивать соблюдение указанных рабочих условий в процессе эксплуатации райзера. Эксплуатационные ограничения райзера должны быть определены проектировщиком и могут быть представлены в виде графиков, по одной оси которых откладывают высоты значительных волн, а по другой — смещения судна относительно площадки устьевого оборудования. Типовая диаграмма для райзера З/РС в подсоединенном состоянии показана на рисунке В.1 и представляет диапазон допустимых смещений судна для различных рабочих условий. Значения, расположенные ниже кривой, образуют область безопасной эксплуатации с учетом возможных режимов отказов. Для значений, расположенных выше кривой, действие нагрузок может привести к напряжениям, превышающим предел прочности, и/или к вертикальным перемещениям райзера, превышающим установленный запас хода, что требует восстановить допустимое положение судна или выполнить отсоединения райзера. График отражает значения высот значительных волн, период пика спектра и параметры смещения судна, которые может контролировать персонал судна в процессе работы. Каждая отдельная кривая сформирована для совокупности параметров, включающих положение судна, глубину воды, профиль скоростей течения, значения верхнего натяжения райзера, плотность флюида внутри райзера и внешнее проектное давление.



Расположение: Месторождение . . . . . .
Судно: Наименование судна. . . . . .
Райзер: Назначение. . . . . .
Режим: Работа с ПФА . . . . . .
Конфигурация верхней части: Натяжная рама . . .
Верхнее натяжение:
Компенсатор качки: . . . . . кН
Натяжное кольцо: . . . . . кН
Нижнее натяжение:
Низ МЭО: . . . . . кН
Давление: . . . . . МПа
Плотность флюида: . . . . . $г/м^3$
Направление волн: Встречное . . . . . .
T_p: . . . . . 90 % доверительного интервала
Течение: . . . . . период повторяемости раз в год
Направление течения: Встречное . . . . . .
Угол наклона устья скважины: . . . . . °

[a] Опасная область эксплуатационных параметров.
[b] Безопасная область эксплуатационных параметров.

X — установившееся смещение судна, L_{so}, относительно устьевого оборудования, выраженное в процентах от глубины воды, в качестве положительного направления принимают направление течения; *Y* — высота значительных волн H_s; *1* — предел прочности: аварийный; *2* — предел прочности: экстремальный; *3* — предел прочности: нормальный; *4* — ограничение на вертикальные перемещения: компенсатор качки; *5* — ограничение угла МЭО: направление, противоположное направлению течения; *6* — ограничение угла МЭО: по направлению течения

Рисунок В.1 — Типовая область допустимых рабочих условий (диапазон). Режим работы с ПФА

Представленные на рисунке В.1 параметры, используемые для определения рабочих условий, включают данные об условиях внешней среды и технические параметры, характеризующие режим работы райзера. Данные параметры подлежат постоянному непосредственному или косвенному мониторингу для обеспечения безопасного режима работы райзера. При определении эксплуатационных ограничений следует принимать во внимание используемый метод контроля и точность измерения указанных параметров. Ограничения при непосредственном контроле внешних параметров (таких, как высота волны, профиль течения, смещение судна) устанавливают менее жесткими по сравнению с ограничениями, устанавливаемыми при использовании косвенных методов контроля (например, при замере вертикальной, килевой, бортовой качки и т. д.).

Эксплуатационные ограничения райзера в присоединенном состоянии зависят от таких ограничивающих факторов, как прочность элементов райзера, ход райзера и максимальный зазор, максимально допустимый угол отклонения, обеспечивающий срабатывание модуля экстренного отсоединения, и возможные смещения судна. Эксплуатационные ограничения должны быть определены для каждого из указанных факторов. Общий диапазон допустимых рабочих условий райзера, приведенный на рисунке В.1, сформирован на основе анализа совокупного влияния всех ограничивающих факторов. В примере, представленном на рисунке В.1, критическими ограничивающими факторами являются ограничение хода компенсатора качки верхнего привода и угол срабатывания модуля экстренного отсоединения.

Анализ процесса установки райзера часто включает в себя оценку ограничений с позиции прочности райзера, зазора между райзером и стенками буровой шахты, а также требований к позиционированию судна при подключении райзера к оборудованию на морском дне. Необходимо выполнить проверку высотных отметок для различных контрольных точек.

В процессе установки следует учитывать различные возможные условия выполнения операций, например свинчивание соединителя в процессе спуска, когда райзер подвешен на полу буровой площадки, и при опускании райзера (моделирование при наличии боковых ограничений у пола буровой с обеспечением возможности вращения райзера).

В штормовых условиях или после аварийного отсоединения модуль экстренного отсоединения может быть отведен в сторону от подводного оборудования и судно смещено с заданной позиции. При вывешивании райзер может быть зафиксирован у пола буровой или может быть обеспечено его вращение (например, с помощью карданова подвеса спайдера или специальной конструкции для подвешивания).

В.2.2 Режим работы с трубной головкой

В.2.2.1 Спуск/подъем и посадка

Следует рассматривать спуск/подъем и посадку сборок следующего оборудования:

a) ПФА вертикального типа:

- для заглушенной скважины: НКТ, трубная головка, инструмент для спуска трубной головки, переводник ППВО, райзер для заканчивания скважины;
- для скважины под давлением: НКТ, трубная головка, инструмент для спуска трубной головки, переводник ППВО/испытательная секция в составе колонны для спуска, стопорный клапан, райзер для заканчивания скважины;

b) ПФА горизонтального типа:

- НКТ, трубная головка, инструмент для спуска трубной головки, испытательная секция в составе колонны для спуска, стопорный клапан, райзер для заканчивания скважины.

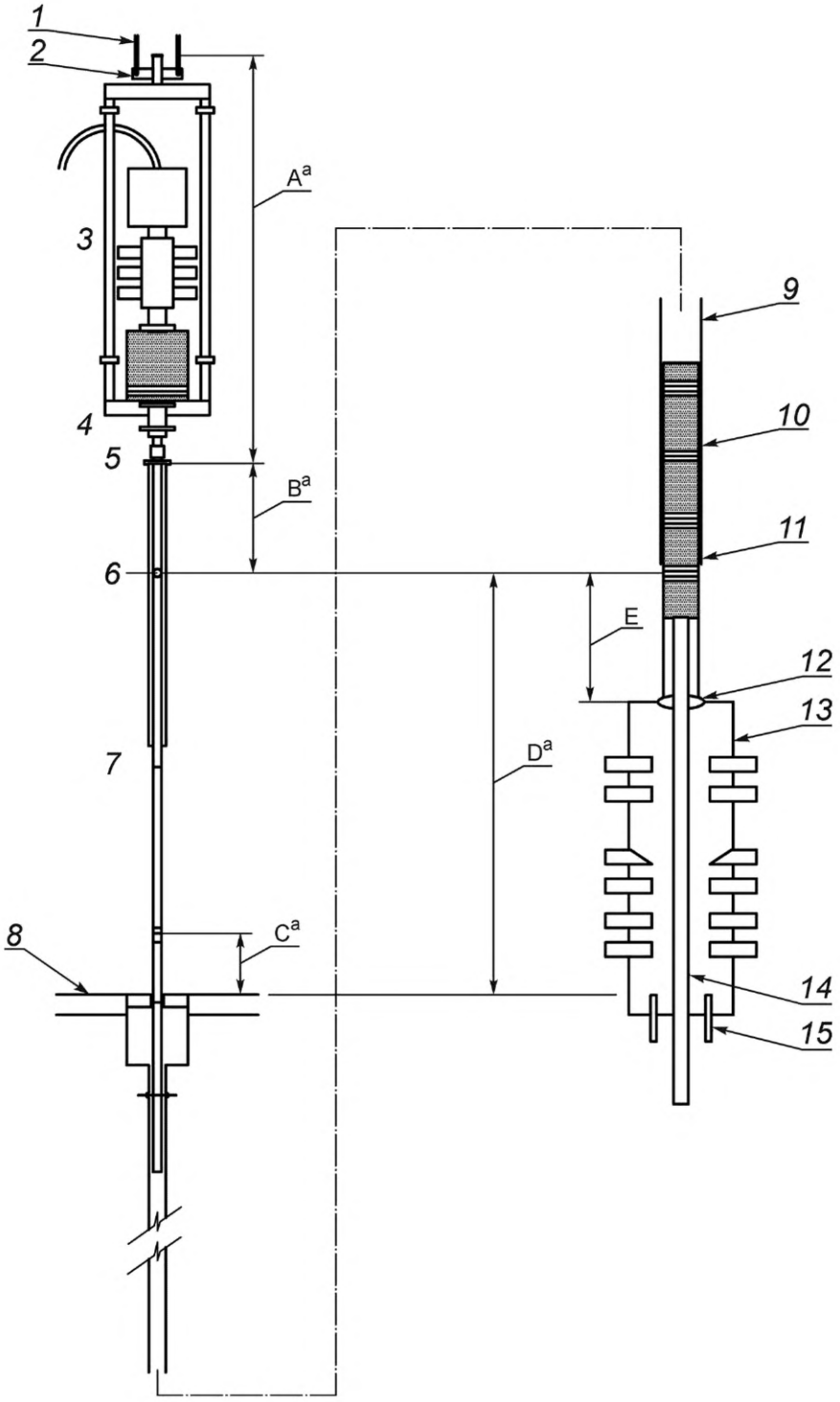
Для предупреждения повреждения компонентов колонны для спуска рекомендуется:

- устанавливать длину райзерной колонны таким образом, чтобы трубная головка была расположена выше нижнего гибкого соединения бурового райзера при свинчивании последней сборки (гладкого соединения и ПИФА);
- проводить трубодержатель через ППВО за одну операцию.

Для соответствия этим требованиям необходимо иметь достаточный запас высоты буровой вышки. Как можно увидеть на рисунке В.2, требуемая высота подъема зависит от высоты ППВО и опускания райзера после посадки, в дополнение к другим факторам, приведенным в таблице В.1.

Эксплуатационные ограничения должны быть определены для каждого вида сочетаний сборок спускаемого оборудования. Эксплуатационные ограничения, как правило, устанавливают в виде допустимых значений углов отклонения верхнего и нижнего гибких и шарового соединений бурового райзера. Наиболее критичным является прохождение сборки, обладающей наибольшей жесткостью при изгибе.

При прохождении сборки оборудования через нижнее гибкое соединение бурового райзера необходимо учитывать относительную жесткость при изгибе компонентов райзера для заканчивания и бурового райзера. Следует подготовить руководство для оператора, содержащее допустимые значения углов отклонения гибкого и шарового соединений перед входом и в процессе прохождения через них наиболее жестких элементов собранных узлов райзера для заканчивания.



[a] См. таблицу В.1.

1 — штропы; *2* — элеватор; *3* — натяжная рама; *4* — переводник; *5* — вертлюг; *6* — гладкое соединение; *7* — короткий патрубок; *8* — пол буровой вышки; *9* — буровой райзер; *10* — колонна для спуска; *11* — трубная головка; *12* — гибкое соединение; *13* — ППВО; *14* — НКТ; *15* — устье скважины

Рисунок В.2 — Параметры высоты подъема и посадки собранных элементов райзера

Кроме того, в руководстве по эксплуатации райзера З/РС следует привести описание возможных последствий и необходимой диагностики райзера при нарушении требований к значению угла отклонения гибкого и шарового соединений бурового райзера в процессе спуска сборки элементов райзера.

После идентификации допустимых углов отклонения гибкого и шарового соединений необходимо определить следующие параметры:

- относительную жесткость при изгибе райзера для заканчивания скважины и бурового райзера;
- внутренний зазор между компонентами райзера для заканчивания скважины и стенками бурового райзера, включая все вспомогательные элементы, закрепленные на райзере для заканчивания скважины (хомуты шланго-кабеля, хомуты линии доступа в затрубное пространство, кожух гладкого соединения и т. д.);
- высотную отметку нижнего гибкого и шарового соединений относительно верха устья скважины;
- высотную отметку верхнего гибкого и шарового соединений относительно пола буровой установки.

Необходимо определить следующие ограничивающие параметры:

a) допустимые углы отклонения нижнего и верхнего гибких и шарового соединений;

b) скорость посадки райзера;

c) минимальное и максимальное натяжение райзера, включая избыточное натяжение.

Таблица В.1 — Параметры высоты подъема и посадки собранных элементов райзера

Параметр	Размер
Высота ПИФА и натяжной рамы или сборки штроп	A
Номинальное значение опускания райзера после посадки	B
Высота подвешивания секции райзера	C
Ход посадки (расстояние от заплечика для установки трубной головки до нижней части трубной головки в подвешенном состоянии)	D
Зазор между трубной головкой и гибким соединением для расчета допустимой вертикальной качки судна и ошибки определения положения	E
Минимальная требуемая высота для подъема на буровой вышке	A + B + D + зазор для перемещения

В.2.2.2 Режим работы в присоединенном состоянии

При эксплуатации райзера в присоединенном состоянии в режиме работы с трубной головкой эксплуатационные ограничения, как правило, выражают через допустимые углы отклонения верхнего и нижнего гибкого и шарового соединений бурового райзера. Ограничения для значений смещения судна и высоты волн, как правило, находятся вне области ответственности изготовителя райзера З/РС. К факторам, которые могут влиять на значения допустимых углов отклонения верхнего и нижнего гибкого и шарового соединений, относят:

- допустимые уровни нагрузок для режима эксплуатации;
- параметры флюида внутри райзера, давление, плотность (масса) флюида или вес колонны инструмента;
- натяжение райзера.

При определении допустимых углов отклонения гибкого и шарового соединений бурового райзера следует учитывать:

a) относительную жесткость при изгибе райзера для заканчивания скважины и бурового райзера;

b) внутренний зазор между компонентами райзера для заканчивания скважины и стенками бурового райзера, включая все вспомогательные элементы, закрепленные на райзере для заканчивания скважины (хомуты шланго-кабеля, хомуты линии доступа в затрубное пространство, кожух гладкого соединения и т. д.);

c) высотную отметку нижнего гибкого соединения и шарового соединения относительно верха устья скважины;

d) высотную отметку верхнего гибкого соединения и шарового соединения относительно пола буровой установки.

При определении допустимых углов отклонения гибкого и шарового соединений важно рассматривать буровой райзер, ППВО и райзер З/РС как единую систему. Допустимые углы для одной конфигурации оборудования не обязательно будут применимы для другой конфигурации.

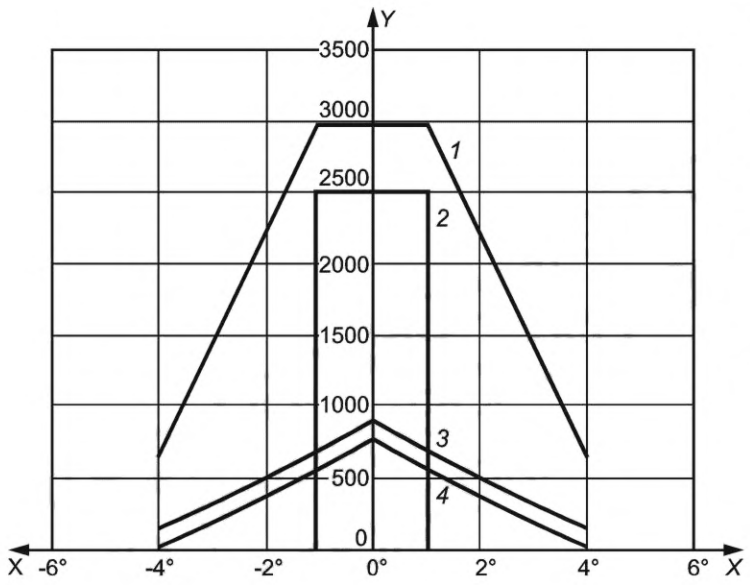
В.2.2.3 Натяжение райзера для извлечения НКТ

Как минимум, следует определить ограничения в виде допустимых углов отклонения гибкого и шарового соединений бурового райзера. Необходимое натяжение, прикладываемое к трубной головке, принимают равным весу НКТ и дополнительному усилию на преодоление сил трения. Увеличение натяжения, как правило, приводит к уменьшению допустимых углов отклонения гибкого соединения.

В.2.2.4 Эксплуатационные ограничения

Эксплуатационные ограничения для режима работы с трубной головкой зависят от тех же факторов, что и при работе без водоотделяющей колонны. Рекомендуется провести анализ для определения предельных углов отклонения гибких соединений бурового райзера в рабочем положении, условий натяжения райзера З/РС и его спуска (определение требований к зазору).

Ограничения, представленные на рисунке В.3, являются отдельным примером для райзера З/РС.

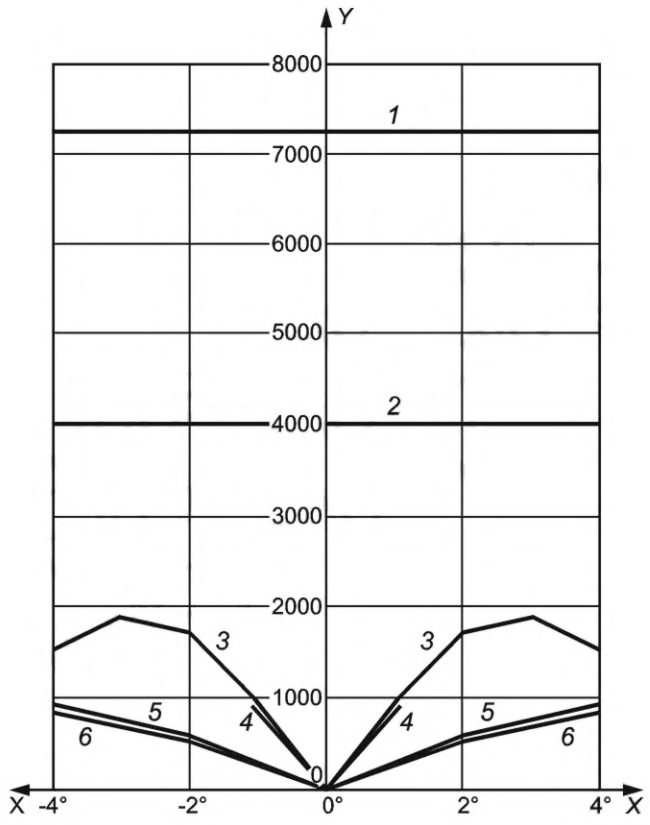


Расположение:
Месторождение . . . . . .
Судно:
Название судна . . . . . .
Райзер:
Назначение. . . . . .
Режим:
Работа с трубной головкой
Внутренний диаметр бурового райзера:
. . . . . м
BOP ID: . . . . . м
Угол наклона устья скважины: . . . . . °

X — угол отклонения нижнего гибкого соединения бурового райзера относительно вертикальной оси ППВО θ_F, град; *Y* — приложенное к трубной головке эффективное натяжение райзера T_e, кН; *1* — увеличенное натяжение при заклинивании НКТ; *2* — спуск/извлечение; *3* — режим заглушенной скважины; *4* — режим нормальной эксплуатации

Рисунок В.3 — Типовые эксплуатационные ограничения райзера З/РС. Режим работы с трубной головкой

Эксплуатационные ограничения райзера З/РС для конкретных условий применения в сочетании с эксплуатационными ограничениями бурового райзера формируют общие эксплуатационные ограничения, учитывающие параметры ППВО, устьевой обвязки, ПФА и колонны направления. Важно отметить, что несущая способность некоторых из этих компонентов зависит от влияния концевых заглушек. На рисунке В.4 показаны общие эксплуатационные ограничения в режиме работы с трубной головкой. В данном примере совокупные нагрузки при операциях с райзером З/РС не превышают общей несущей способности.



Расположение:
Месторождение . . . . . .
Судно: Название судна . . . . . .
Райзер: Назначение. . . . . .
Режим: Работа с трубной головкой . . . . . .
Вид соединителя ППВО: . . . . . .
Вид соединителя ПФА: . . . . . .
Тип устья скважины: . . . . . .
Размер направления: . . . . . .м
Натяжение бурового райзера:. . . . . кН
Высота сборки ППВО, L2: . . . . . .м
Угол наклона устья скважины: . . . . . °

X — угол отклонения нижнего гибкого соединения бурового райзера относительно вертикальной оси ППВО θ_F, град; *Y* — изгибающий момент M_{bm}, кН·м; *1* — несущая способность устьевой обвязки; *2* — несущая способность соединителя с колонной головкой; *3* — избыточное натяжение; *4* — спуск; *5* — режим заглушенной скважины; *6* — режим нормальной эксплуатации

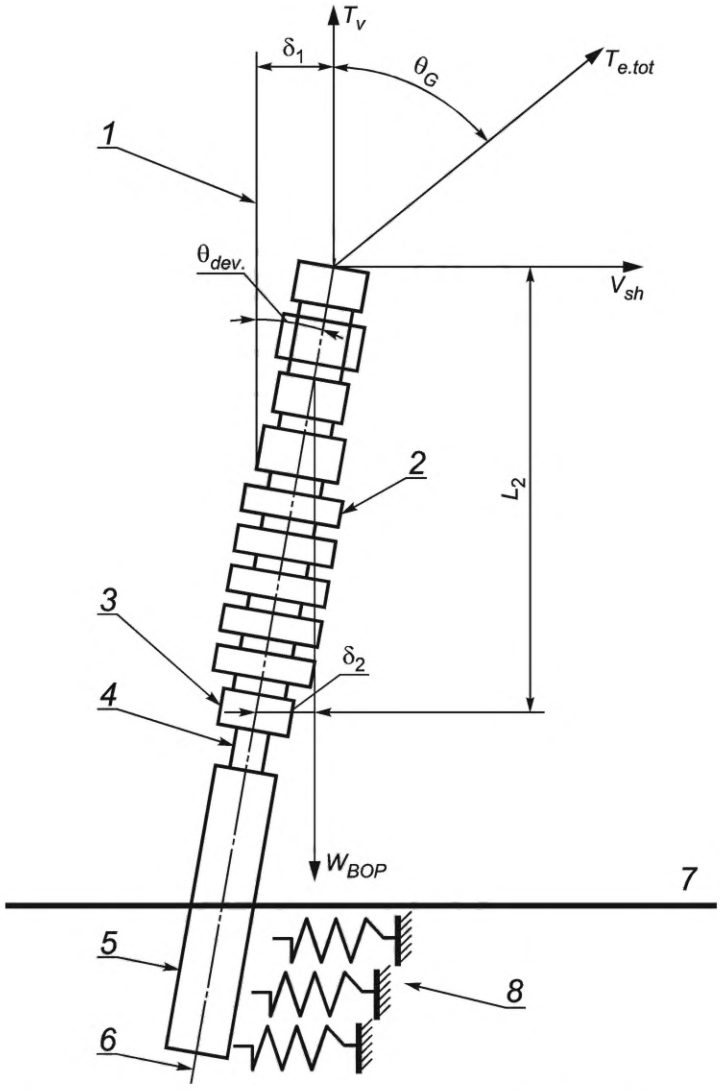
Рисунок В.4 — Общие эксплуатационные ограничения. Режим работы с трубной головкой

Общий результирующий изгибающий момент M_G от воздействий на буровой райзер и райзер З/РС, приложенный в точке под нижним гибким соединением бурового райзера, может быть определен в соответствии с выражениями (В.1) и (В.2). В данном примере общий изгибающий момент определяют на соединителе устьевой обвязки скважины.

$$M_G = (V_{sh} \cdot L_2) + (w_{BOP} \cdot \delta_2) - (T_v \cdot \delta_1) + [(\theta_G - \theta_{dev}) \cdot K_F] + M_f, \quad (В.1)$$

$$V_{sh} = T_{e,tot} \cdot \sin(\theta_G) + V_{se}, \quad (В.2)$$

где V_{sh} — общее срезающее усилие, действующее на гибкое соединение морского райзера, Н;
L_2 — высота от устья скважины до оси гибкого соединения (см. рисунок F.2), м;
w_{BOP} — вес в погруженном состоянии ППВО и НБР, включая содержимое внутренних каналов, Н;
δ_2 — расстояние по горизонтали от центра тяжести ППВО до заданной точки, м;
T_v — вертикальная составляющая общего эффективного натяжения $T_{e,tot}$, Н;
δ_1 — расстояние по горизонтали между гибким соединением и заданной точкой, м;
θ_G — угол отклонения гибкого соединения относительно вертикальной оси, рад (см. рисунок В.5);
θ_{dev} — угол отклонения вертикальной оси ППВО и корпуса колонной головки высокого давления от вертикали, рад (см. рисунок В.5);
K_F — крутильная жесткость гибкого соединения, Н·м/рад;
$T_{e,tot}$ — общее эффективное натяжение от морского райзера и райзера З/РС, действующее на гибкое соединение, Н;
M_f — изгибающий момент, необходимый для изгиба райзера З/РС, Н·м;
V_{se} — срезающее усилие, действующее на гибкое соединение из-за действия нагрузок от окружающей среды на морской райзер и ППВО, Н.



1 — вертикаль, проходящая через соединитель с колонной головкой; *2* — ППВО; *3* — соединитель с колонной головкой; *4* — корпус кондуктора; *5* — направление; *6* — центральная ось, проходящая через расположенные под наклоном ППВО и кондуктор; *7* — морское дно; *8* — сопротивление грунта сдвигу

Рисунок В.5 — Проверка несущей способности устья скважины относительно общего изгибающего момента. Режим работы с трубной головкой

В.3 Общий анализ райзера

В.3.1 Подходы к проведению общего анализа райзера

Общий анализ райзерной системы, как правило, выполняют для прогнозирования поведения райзера в проектных условиях, определения требований к верхнему натяжению, расчета напряжений от действия экстремальных нагрузок (определение эксплуатационных ограничений) и напряжений от усталостных нагрузок в компонентах райзера.

Общий анализ райзерной системы предназначен для верификации результатов рабочего проекта, определения эксплуатационных ограничений, оценки усталостной долговечности и определения параметров экстремальных и усталостных нагрузок на сопряжения. В состав общего анализ райзера, как правило, входит:

a) анализ отдельных труб в конструкции и проверка на применимые режимы отказа;

b) определение проектных нагрузок (экстремальных и усталостных) на отдельные компоненты, включая муфты, усиленное соединение, натяжное соединение, гладкое соединение и т. д.;

c) оптимизация прикладываемого натяжения для достижения допустимых напряжений, оценка необходимости увеличения плавучести;

d) оценка зазора между райзером и внешними объектами, например между райзером и конструкциями судна, райзером и морским дном, райзером и палубным оборудованием/спайдером;

e) оценка перемещений и отклонений, например хода верхней части райзера, углов наклона гибкого и шарового соединения;

f) оценка влияния вибрации, вызванной вихреобразованием, и необходимости мониторинга и обследования райзера в случае подтверждения ее негативного воздействия. Следует оценить необходимость увеличения верхнего натяжения райзера и/или использования гасящих вибрацию устройств.

Некоторые основные параметры, учитываемые в процессе проектирования и анализа систем райзера З/РС, показаны на рисунке В.6.

Должны быть разработаны эксплуатационные процедуры для всех режимов эксплуатации райзера. Процедуры должны включать эксплуатационные ограничения, определенные в процессе анализа райзера и его компонентов.

В.3.2 Натяжение райзера

В.3.2.1 Эффективное натяжение

Нагрузки от воздействия на трубы райзера внешнего и внутреннего давления, как правило, рассматривают с точки зрения натяжения/веса райзера и выражают формулами:

$$T_e = (T_w - p_{int} \cdot A_{int}) - (-p_o \cdot A_o) = T_w - p_{int} \cdot A_{int} + p_o \cdot A_o = T_w - \frac{\pi}{4} \cdot [p_{int} \cdot (D_o - 2 \cdot t)^2 - p_o \cdot D_o^2], \quad (B.3)$$

$$w_e = w_p + A_{int} \cdot \rho_{int} \cdot g - A_o \cdot \rho_o \cdot g = w_p + \frac{\pi}{4} \cdot g \cdot [\rho_{int} \cdot (D_o - 2 \cdot t)^2 - p_o \cdot D_o^2], \quad (B.4)$$

где T_e — эффективное натяжение в трубе, Н;

T_w — истинное натяжение стенки, Н;

p_{int} — внутреннее давление в заданной точке, Па;

A_{int} — площадь внутреннего поперечного сечения трубы, м^2;

p_o — внешнее давление в заданной точке, Па;

A_o — площадь поперечного сечения трубы по наружному диаметру, обеспечивающая плавучесть при погружении, м^2;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t — толщина стенки трубы, м;

w_e — вес в погруженном состоянии, Н;

w_p — вес трубы на воздухе (сухой), Н;

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

ρ_{int} — плотность флюида внутри трубы, кг/м^3;

ρ_o — плотность морской воды, кг/м^3.

Эффективное натяжение представляет собой силу, направленную вдоль продольной оси (осевое напряжение, умноженное на площадь поперечного сечения трубы) и определяемую с учетом действия внутреннего и внешнего давления флюида.

Физический смысл эффективного натяжения может быть выражен следующим образом:

- геометрическая характеристика жесткости, определяемая эффективным натяжением. Это означает, что эффективное натяжение является общим определяющим параметром жесткости для подавляющего большинства гибких конструкций;

- общая устойчивость (потеря устойчивости колонны) райзера, которая определяется эффективным натяжением.

Эффективное натяжение направлено вдоль оси и рассчитывается в любой точке вдоль райзера, исходя из значения верхнего натяжения, веса самого райзера в воде и веса его содержимого. Эффективное натяжение также можно рассматривать как натяжение трубы без учета влияния давления.

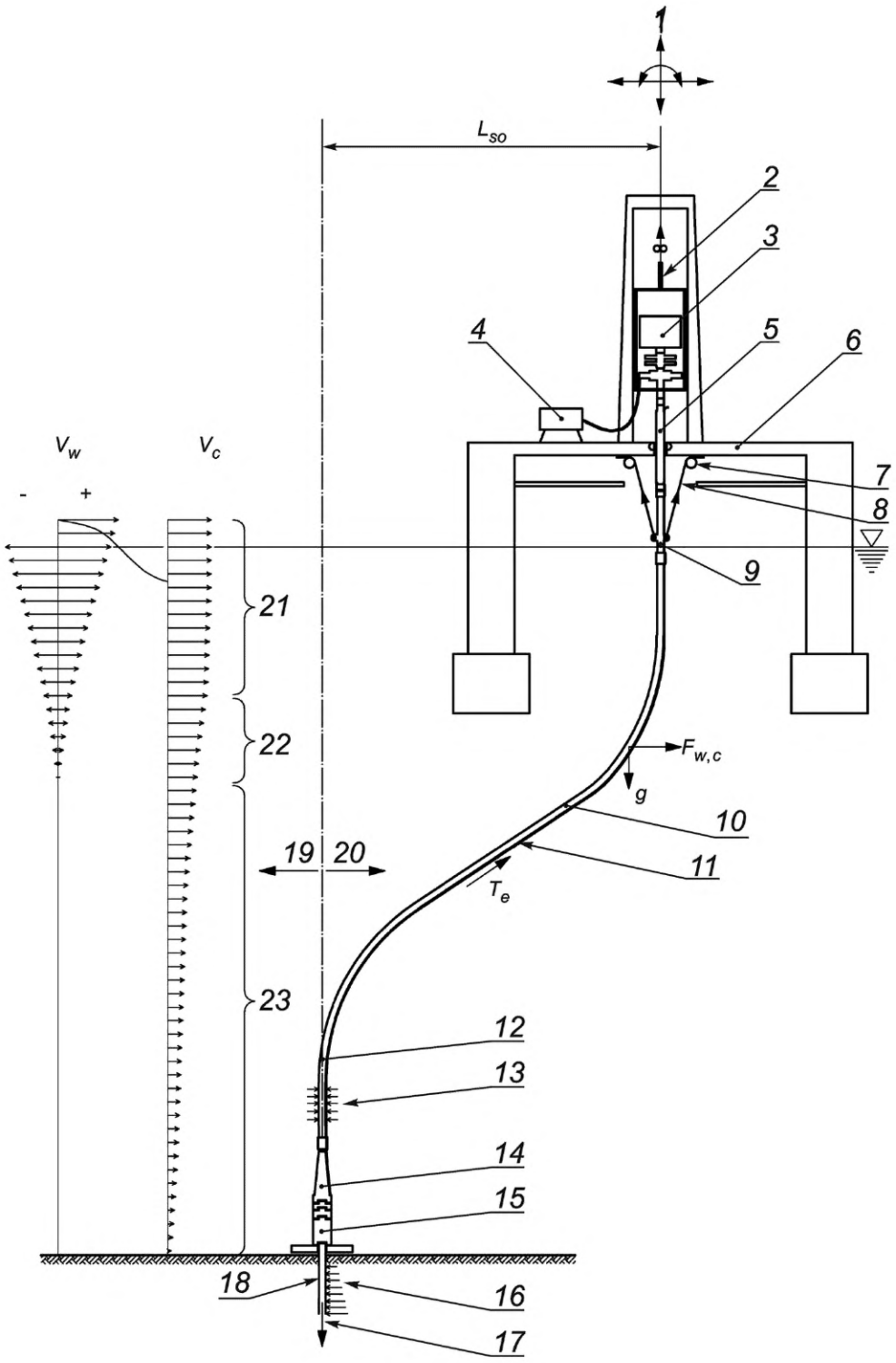
В.3.2.2 Верхнее натяжение

Для предупреждения общей потери продольной устойчивости райзера требуется приложение минимального натяжения, которое следует устанавливать достаточно высоким, чтобы эффективное натяжение было положительным во всех частях райзера, даже в случае отказа устройства натяжения. В большинстве случаев минимальное эффективное натяжение рассчитывают относительно нижней части райзера. Соединитель в нижней части усиленного соединения принимают в качестве контрольной точки для определения натяжения.

Начальное минимальное натяжение райзера в верхней части может быть определено в соответствии с требованиями *[42]*. Низкое или даже отрицательное эффективное натяжение в отдельной части райзера не приводит к немедленной потере продольной устойчивости райзера в соответствии с формулой Эйлера. Прямым следствием низкого или отрицательного эффективного натяжения является низкая поперечная жесткость, последствия которой с достаточной точностью оценивают при стандартном общем анализе райзера с учетом изменений эффективного натяжения. Возникающее эффективное сжатие следует с достаточной точностью исследовать для трубных секций райзера и его компонентов (см. раздел 6).

Натяжение буровой лебедки должно с небольшим запасом компенсировать вес элементов выше натяжного кольца, т. е. создавать почти нулевое эффективное натяжение выше натяжного кольца.

Однако, в некоторых системах райзера повышение эксплуатационных характеристик может быть достигнуто посредством оптимизации распределения натяжения между натяжным устройством райзера и буровой лебедкой. Необходимо отметить, что такое распределение подразумевает увеличение натяжения буровой лебедки выше минимума, описанного выше.



1 — перемещения судна, вызванные воздействием волн первого порядка; *2* — натяжение и ход буровой лебедки; *3* — оборудование на судне; *4* — источник давления (штуцер или буровой насос); *5* — гладкое соединение; *6* — пол буровой вышки; *7* — шкивы устройства натяжения; *8* — натяжение и ход устройства натяжения; *9* — натяжное соединение; *10* — наружный диаметр; *11* — секции райзера; *12* — жесткость при изгибе; *13* — внешнее давление; *14* — усиленное соединение; *15* — подводное оборудование; *16* — боковое давление грунта; *17* — инструмент; *18* — жесткость при изгибе направления; *19* — против течения; *20* — по течению; *21* — зона волнения; *22* — зона сдвига; *23* — демпфирующая зона; $F_{w,c}$ — волновые нагрузки и нагрузки от течения; *g* — сила земного притяжения; T_e — эффективное натяжение; V_w — скорость волны; V_c — скорость течения; L_{so} — установившееся смещение судна (+)

Рисунок В.6 — Основные параметры, используемые при проектировании и анализе системы райзера З/РС

В.3.3 Примеры структурных моделей

В.3.3.1 Эксплуатация без водоотделяющей колонны

Типовые модели для анализа систем райзера З/РС при работе без водоотделяющей колонны показаны на рисунке В.7.

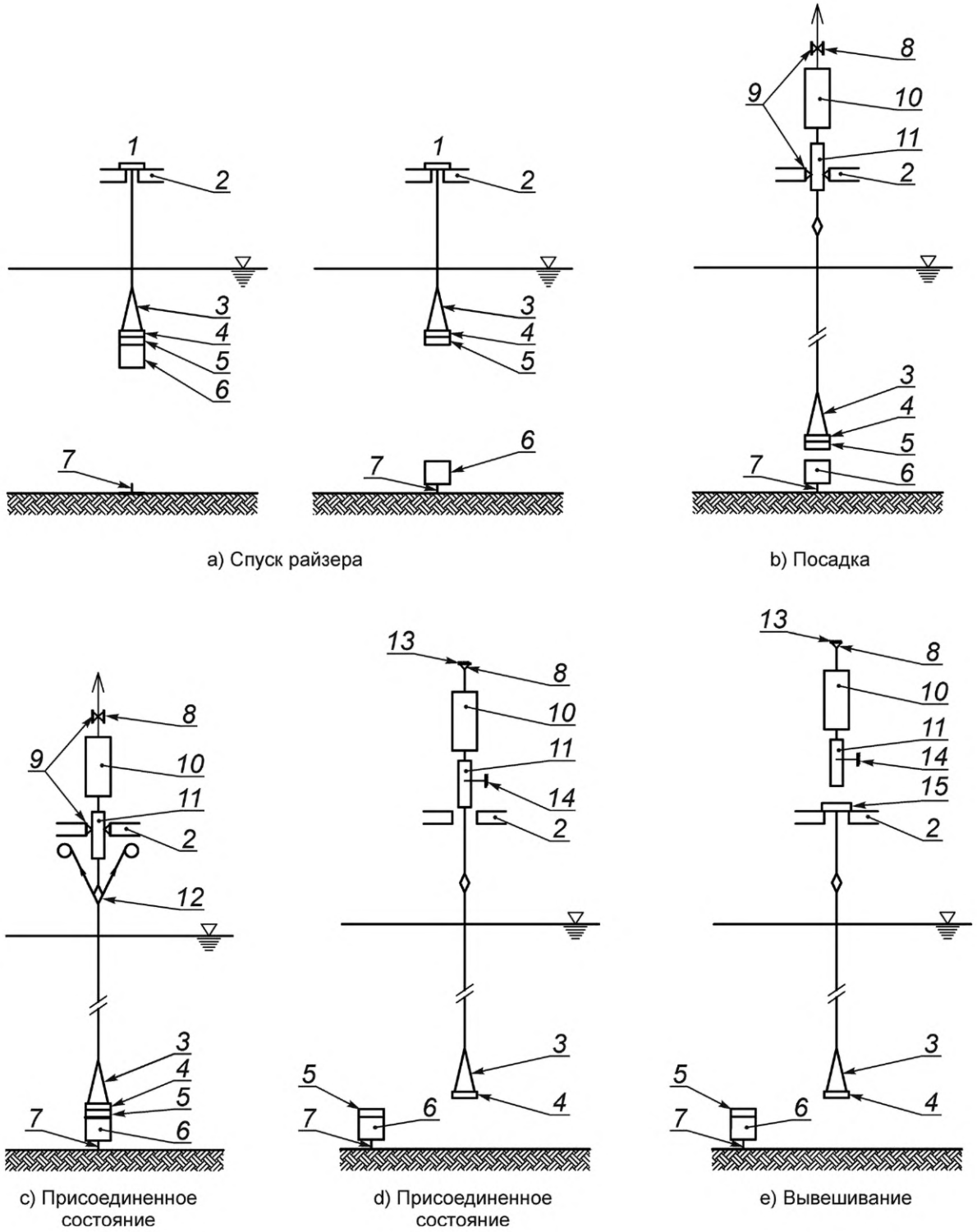
Удержание райзера в процессе спуска осуществляют на буровой вышке или в клиньях/карданном шарнире на полу буровой или в спайдере на посадочных блоках. Верхнее натяжение от буровой лебедки будет возрастать по мере увеличения длины опускаемого райзера. Клинья можно моделировать как абсолютно жесткие (см. рисунок В.7). Если райзер удерживается с помощью карданова подвеса, то при моделировании он можно рассматривать как шарнирно закрепленную опору. Анализ процесса спуска райзера следует проводить для различных длин погруженной в воду части райзера.

Анализ процесса посадки райзера включает рассмотрение влияния скорости посадки и максимального угла соединения. Для срабатывания фиксирующего механизма должен быть обеспечен минимальный вес посадки. Возникающее при этом локальное отрицательное эффективное натяжение снижает устойчивость райзера.

В присоединенном состоянии райзер в рассматриваемой модели ограничен у морского дна по всем степеням свободы (жесткость устья скважины и реакция грунта). Перемещения судна, как правило, передаются системе райзера через верхние блоки лебедки, стол ротора и шкивы натягивающих тросов.

В процессе отсоединения райзера прикладываемое натяжение необходимо уменьшить для соответствия требованиям к допустимому избыточному натяжению. Кроме того, должно быть обеспечено соблюдение требования к максимально допустимому углу раскрепления.

После отсоединения райзер может быть подвешен на крюке, спайдере или специально предназначенной балочной конструкции. При вывешивании райзера в штормовых условиях могут быть использованы специальные системы подвешивания, которые обеспечивают осевую и боковую поддержку (см. рисунок В.7).



1 — клинья/спайдер; *2* — пол буровой вышки; *3* — усиленное соединение; *4* — модуль экстренного отсоединения; *5* — нижний узел-превентор райзера; *6* — ПФА; *7* — устье скважины; *8* — верхний привод; *9* — система боковой поддержки; *10* — оборудование натяжной рамы; *11* — гладкое соединение; *12* — натяжное соединение; *13* — шарнирно закрепленная опора; *14* — зафиксированная опора; *15* — втулка для вывешивания

Рисунок В.7 — Типовые модели, используемые при анализе райзера З/РС с помощью метода конечных элементов. Работа без водоотделяющей колонны

В.3.3.2 Эксплуатация внутри бурового райзера

На рисунке В.8 показаны типовые модели, используемые для анализа системы райзера З/РС при работе внутри бурового райзера. В данном режиме анализ райзера З/РС может быть выполнен в квазистатической постановке, с учетом влияния углов отклонения гибкого и шарового соединений бурового райзера в дополнение к эффективному натяжению и нагрузкам от давления, действующим на райзер З/РС. Заданные углы отклонения гибкого и шарового соединений бурового райзера могут создавать изгибающие моменты в райзере З/РС вследствие возникновения контакта стенок райзеров.

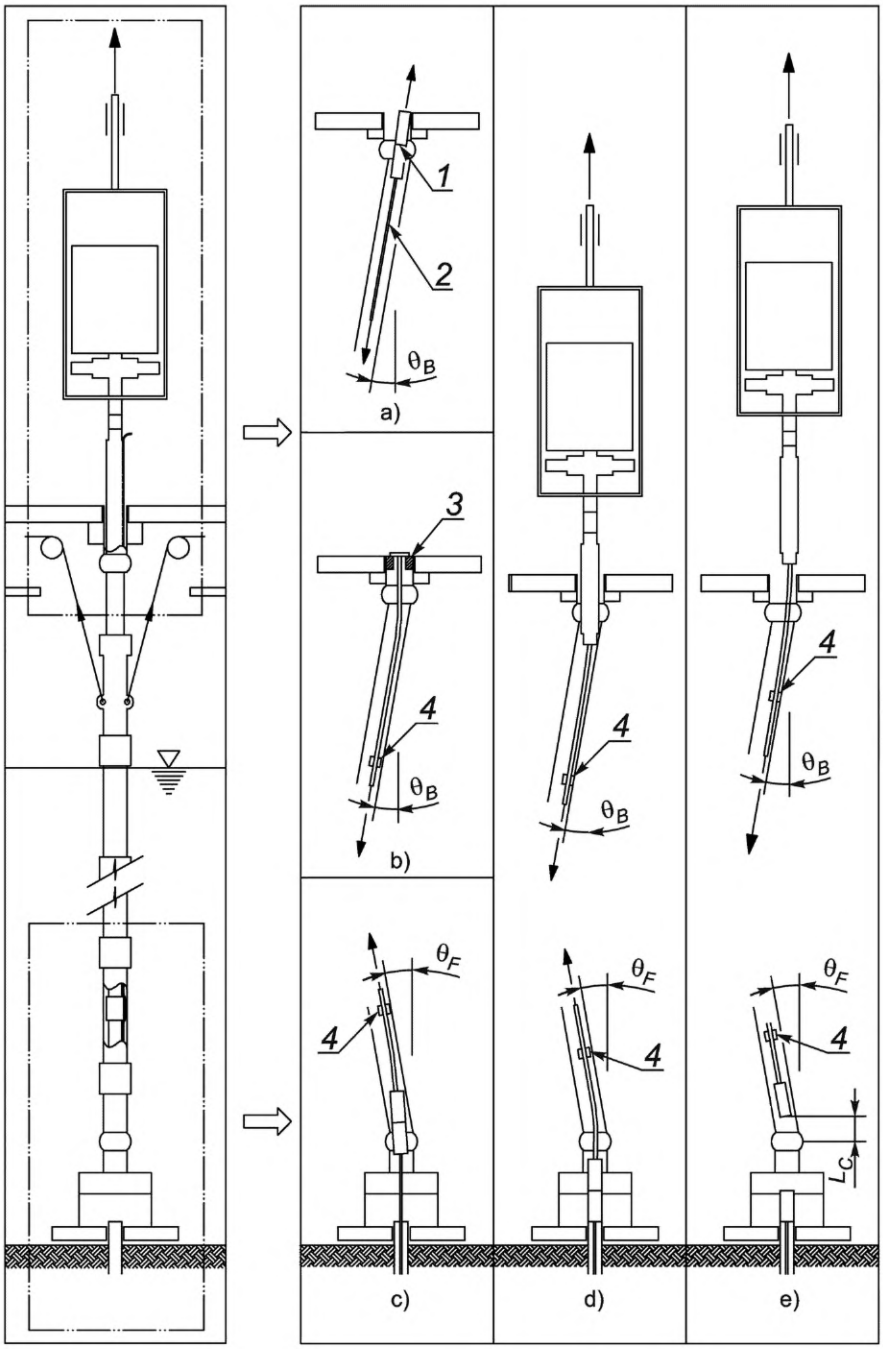
Следует моделировать как промежуточные положения, так и работу райзера в присоединенном состоянии. Во всех случаях, анализ может включать оценку изгибающего момента при заданном смещении, где значение смещения является функцией угла отклонения шарового и гибкого соединения бурового райзера и зазоров между райзером З/РС (включая хомуты шлангокабеля и т. д.) и морским райзером, ППВО и ограничивающими конструкциями.

Важно учесть в модели влияние геометрической характеристики жесткости как реакции на действие изгибающего момента. Значения осевой и изгибающей жесткости следует определять на основе номинальных размеров райзера.

В.3.4 Моделирование нагрузок

Если воздействие давления и функциональных нагрузок может быть учтено при использовании статистических методов анализа, то влияние нагрузок от факторов окружающей среды (воздействие волн и смещение судна) требует проведения динамического анализа. Инерция и эффект демпфирования имеют значение, если частота воздействия установившейся нагрузки приближаются к частоте собственных колебаний или в случаях неустановившихся нагрузок (при отсоединении). Частота собственных колебаний райзеров, как правило, ниже или выше частоты воздействия волн. Следует отметить, что действие внешнего и внутреннего давления в трубных элементах учитывают при анализе эффективного натяжения (см. В.3.2) и, как правило, рассматривают при оценке возникающих напряжений.

Гидродинамическая модель позволяет определить приложенные к райзеру силы, возникающие вследствие относительной скорости и ускорения частиц морской воды, окружающей райзер. Гидродинамические нагрузки для гибких конструкций могут быть выражены уравнением Морисона через локальные ускорения потока и силы инерции.



a) спуск: прохождение колонны для спуска через шаровое соединение; b) спуск: подвешивание райзера в процессе свинчивания; c) спуск: прохождение колонны для спуска через гибкое соединение; d) присоединенное состояние; e) отсоединенное состояние; *1* — колонна для спуска; *2* — НКТ; *3* — клинья/спайдер; *4* — хомут шлангокабеля; L_c — зазор

Рисунок В.8 — Типовая модель райзера З/РС для моделирования МКЭ. Работа внутри бурового райзера

Коэффициент сопротивления и коэффициент инерции, входящие в уравнение Морисона, являются эмпирическими коэффициентами, значение которых может быть получено экспериментальным путем или посредством численного моделирования. Значения гидродинамических коэффициентов зависят от формы тела, числа Рейнольдса, числа Кеулегана-Карпентера, шероховатости поверхности т. д., и их следует рассматривать как изменяющиеся во времени вдоль рассматриваемого элемента. На практике это существенно затрудняет гидродинамические расчеты и при анализе райзера, как правило, используют постоянное значение коэффициентов. Такой подход приводит к возникновению неопределенности, влияющей на точность результатов.

При анализе райзера S/RC коэффициент инерции, как правило, принимают равным 2,0, а коэффициент сопротивления принимают в диапазоне между 0,8 и 1,0. Коэффициент сопротивления зависит от диаметра райзера, который принимается максимальным проектным диаметром (диаметром сопротивления). Коэффициент инерции зависит от общего объема конструкции райзера. Отметим, что пучки труб и закрепленные внешние трубопроводы имеют различные диаметры сопротивления и различный объем, при этом силы сопротивления линейно зависят от диаметра сопротивления, а силы инерции зависят от квадрата диаметра трубы. Рекомендуется проводить анализ чувствительности для оценки влияния выбранных значений коэффициентов на результаты общего анализа райзера.

Следует также рассматривать потенциальное влияние на гидродинамические коэффициенты вибрации, вызванной вихреобразованием, т. е. увеличение коэффициента сопротивления от действия вибрации.

Примечание — Использование уравнения Морисона для определения гидродинамических нагрузок отражает существующий в настоящее время подход, тем не менее не исключается возможность применения иных аналитических методов.

В.3.5 Методы динамического анализа

Перечень наиболее часто используемых методов при моделировании МКЭ при динамическом анализе приведен в таблице В.2. Учет нелинейности является отличительной особенностью доступных методов анализа. Анализ во временной области является основным методом анализа для прогнозирования результатов экстремальных воздействий. Описание условий применения основных методов динамического анализа приведено в таблице В.3. Подробное сравнение различных методов для оценки реакции райзеров с верхним натяжением на экстремальные воздействия представлено в *[43]*.

Таблица В.2 — Методы при моделировании МКЭ при динамическом анализе

Метод	Нелинейности		
	Нагрузки от окружающей среды	Специальные нагрузки	Конструкция
Анализ в нелинейной временной области	Нагружение в соответствии с уравнением Морисона. Интегрирование для фактической высоты поверхности	Столкновение/взаимодействие с другими гибкими конструкциями	Геометрическая жесткость. Материал с нелинейными свойствами
Анализ в линеаризованной временной области		Неприменимо	Линеаризация в положении статического равновесия
Анализ в частотной области	Линеаризация в положении статического равновесия (стохастическая линеаризация)	Неприменимо	Линеаризация в положении статического равновесия

Таблица В.3 — Условия применения методов динамического анализа

Метод	Типовые условия применения
Анализ в нелинейной временной области	Анализ влияния экстремальных нагрузок со значительной нелинейностью, в частности, анализ гибкой конструкции, подверженной трехмерному воздействию. Специальный расчет на усталость для систем или частей систем с ярко выраженной нелинейной реакцией на воздействие. Верификация/валидация упрощенных методов (например, анализа в линеаризованной временной области, анализа в частотной области)
Анализ в линейной временной области	Анализ в экстремальных условиях систем с небольшой/средней конструктивной нелинейностью при действии значительных нелинейных гидродинамических нагрузок (например, райзеров с верхним натяжением)
Анализ в частотной области	Расчет на усталость систем, характеризуемых небольшой/средней нелинейностью

Влияние гидродинамических нагрузок из-за движения и смещений судна, действия волн и течения могут быть определены посредством:

- анализа во временной области;
- проектного анализа волн с анализом динамической системы на возмущение;
- нелинейного стохастического динамического анализа во временной области;
- линеаризованного стохастического динамического анализа во временной области;
- анализа в частотной области.

Приложение С
(справочное)

Расчет на усталость

С.1 Введение

С.1.1 Цель

В приложении С представлены рекомендации по проектированию и анализу стальных компонентов райзера З/РС, подверженных воздействию циклических нагрузок, для предупреждения усталостного разрушения. Указанный анализ выполняют для обеспечения необходимого значения расчетной усталостной долговечности компонентов. Проектное значение усталостной долговечности является основой для формирования программ диагностики в процессе изготовления и во время эксплуатации райзера З/РС.

С.1.2 Допущения

Процедура оценки усталости основана на допущении, что проектирование и изготовление райзера З/РС осуществлялось в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Для гарантии работоспособности райзера З/РС следует проводить расчет на усталость для всех участков райзера, где существует риск формирования усталостных трещин.

Для всех участков или компонентов райзера, являющихся критическими с точки зрения усталости, должна быть обеспечена возможность проведения визуального и неразрушающего контроля или замены.

С.1.3 Ограничения

Приведенные рекомендации неприменимы для малоцикловой усталости, при которой размах напряжений выходит за пределы упругости материала, или для эксплуатации при повышенных температурах, влияющих на показатель ползучести материала.

В приложении С рассматривается только влияние усталостных нагрузок от воздействия окружающей среды.

С.1.4 Методы оценки усталости

Оценку усталости можно выполнять следующими методами:

- методами, основанными на испытаниях на усталость (расчетные кривые усталости *S*—*N* для соединений нормальной прочности) и оценке накопленных повреждений (модель Пальмгрена-Майнера);
- методами, основанными на механике разрушения (прогнозирование развития усталостных трещин компонентов с дефектами);
- проведением прямых испытаний на усталость компонентов.

В процессе проектирования расчет на усталость следует проводить на основе значений расчетных кривых усталости *S*—*N*, определенных с помощью испытаний на усталость репрезентативного компонента, и гипотезы линейного суммирования усталостных повреждений (Пальмгрена-Майнера). Метод анализа с использованием расчетных кривых усталости *S*—*N* является основным инструментом, используемым в процессе проектирования для оценки сопротивления усталости райзеров З/РС, из-за его простоты и эффективности.

Если это применимо, расчет на усталость можно дополнять оценкой усталости, основанной на механике разрушения. Такой подход может быть оправдан, если необходимо оценить остаточную долговечность компонента с трещиной или определить граничные значения для обнаружения трещин при проведении неразрушающего инструментального контроля.

При отсутствии представительных данных о сопротивлении усталости следует применять метод прямых испытаний на усталость компонентов. Такой подход может быть применим в случаях, когда ограничениями для данных по сопротивлению усталости являются температура, прочность материала и свойства воздействующего на материал флюида.

С.1.5 Процедура анализа на усталость

Сопротивление усталости в общем виде может быть представлено в виде кривых усталости *S*—*N*, т. е. в виде зависимости размаха напряжений *S* от количества циклов до разрушения *N*. Если распределение размаха напряжений за определенный период времени выразить в виде гистограммы напряжений, содержащей достаточное количество постоянных размахов напряжений S_i в блоках *k*, каждый с числом n_i повторений цикла напряжений (см. рисунок С.1), критерий усталости определяют по формуле

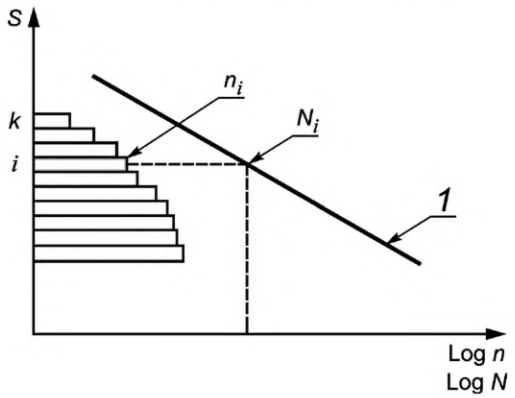
$$D_{SN} = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{N_i} = \frac{1}{\bar{a}} \sum_{i=1}^{k} n_i \cdot (S_i)^m \le \frac{1}{D_f}, \qquad (C.1)$$

где D_F — коэффициент использования относительно усталости;

D_{SN} — накопленное длительное усталостное повреждение или мера усталостного повреждения в соответствии с моделью Пальмгрена-Майнера;

m — значение, численно равное обратному значению углового коэффициента кривой усталости S—N, умноженному на минус единицу;

$\bar{a}$ — нормативное сопротивление усталости или пересечение расчетной кривой усталости S—N с осью log N.



S_i — значение размаха напряжений для столбика гистограммы (блока) с номером i; i — индекс, указывающий номер столбика гистограммы (блока); k — общее количество блоков гистограммы размаха напряжений; N_i — количество циклов до разрушения при постоянном значении размаха напряжений S_i блока гистограммы напряжений с номером i; n_i — количество циклов до разрушения в столбике гистограммы амплитуды напряжений i;
1 — экспериментальная кривая S—N

Рисунок С.1 — Иллюстрация повреждения в соответствии с моделью Майнера, вызванного размахом напряжений для i-го блока диаграммы

Для расчета напряжений, соответствующих кривой усталости S—N, значения размаха номинальных или мембранных напряжений трубы райзера должны быть умножены на соответствующий ККН. Далее размах напряжений должен быть скорректирован с учетом коэффициента, зависящего от толщины или размера детали, таким образом, чтобы расчетная кривая усталости S—N соответствовала фактической толщине, если она превышает стандартную толщину. Это означает, что сопротивление усталости уменьшается для деталей с толщиной, превышающей стандартную.

Основой для расчета усталостных повреждений райзера, подверженного воздействию нагрузок с частотой волн и низкочастотных нагрузок, является общий анализ напряжений от динамических нагрузок. В результате этого анализа определяют распределение размаха номинальных напряжений в зависимости от числа повторений кратковременных условий окружающей среды (состояний моря) с учетом диаграммы повторяемости волн. Напряжения от низкочастотных воздействий вследствие сноса судна под действием волн могут быть определены с помощью общего статического или динамического анализа райзера, учитывающего низкочастотные перемещения судна. Динамический анализ следует выполнять, если напряжения, вызванные инерционными нагрузками от низкочастотных перемещений судна, имеют существенное значение. Напряжения, обусловленные действием вибрации от вихреобразования, должны быть определены в процессе анализа райзера на вибрацию.

Далее усталостное повреждение может быть рассчитано для каждого кратковременного интервала заданных условий с помощью аналитических формул расчета повреждений для узкополосного случайного процесса распределения напряжений, т. е. распределения Рэлея в случае, когда распределение размаха напряжений является нормальным распределением (распределением Гаусса) или распределения Вейбулла в случае, когда распределение размаха напряжений не соответствует распределению Гаусса. Усталостное повреждение для широкополосного случайного процесса распределения напряжений может быть рассчитано с помощью метода подсчета циклов, полуэмпирических решений или с помощью упрощенных аналитических решений.

В качестве альтернативного подхода для расчета усталостного повреждения для каждого кратковременного интервала условий окружающей среды может быть рассчитано распределение напряжений в продолжительном интервале времени посредством суммирования с использованием весовых коэффициентов значений напряжений от циклических воздействий при различных кратковременных условиях окружающей среды. Полученное распределение может быть приведено к эквивалентному аналитическому распределению типа распределения Вейбулла. Распределение Вейбулла для размахов напряжений в продолжительном периоде может быть использовано для построения гистограммы напряжений. Распределение Вейбулла и гистограмма напряжений являются удобными формами представления распределения размахов напряжений в длительном периоде времени для оценки действия усталостных нагрузок на компоненты с целью оценки максимально допустимых ККН или оценки роста усталостной трещины.

Типовая последовательность анализа райзера З/РС на усталость показана в таблице С.1.

Таблица С.1 — Краткое изложение типовой процедуры оценки райзера на усталость

Задача	Комментарий
Определение условий действия циклических (усталостных) нагрузок	Основывается на ограничениях условий эксплуатации, включая напряжения, вызванные воздействиями с частотой волн, с низкой частотой и частотами возможной вибрации, вызванной вихреобразованием. Усталостное повреждение при напряжениях, вызванных воздействиями с частотой волн, как правило, является основным параметром при определении рабочих режимов как с использованием, так и без использования водоотделяющей колонны (морского райзера)
Определение участков райзера для проведения оценки	К указанным участкам относятся: участки с конструктивной неоднородностью, сварные соединения, сварные швы крепления анодов, соединители, болты, участки, на которых выполнялся ремонт дефектов, и т. д.
Выбор данных, характеризующих сопротивление усталости	Классификация соединений (выбор кривой усталости *S—N*), т. е. без сварных соединений, участки со сварными соединениями и участки с болтовым соединением. Выбор данных по сопротивлению усталости зависит от характеристик участка изделия и влияния среды при эксплуатации (как внутренней, так и внешней). Для сварных соединений выбор кривой усталости *S—N* зависит от геометрии свариваемой детали, направления циклического напряжения в теле детали, методов изготовления детали и инструментального контроля. В процессе выбора необходимо учитывать корректирующий коэффициент, зависящий от толщины (размера) детали
Определение ККН на каждом рассматриваемом участке	Определение ККН, не учтенных в кривой усталости *S—N* для анализируемых участков. ККН могут быть определены с помощью параметрических уравнений, детального анализа методом конечных элементов или в процессе испытаний
Выполнение общего расчета на усталость	Выполнить общий анализ райзерной системы на усталость для расчета распределения номинальных размахов напряжений для кратковременного интервала для каждого выявленного участка и среднего напряжения. Распределение размахов напряжений для кратковременных интервалов можно использовать для определения амплитуд номинальных напряжений в продолжительном интервале или построения гистограммы
Выполнение расчетов усталостных повреждений	Рассчитать накопленное усталостное повреждение от взвешенного кратковременного усталостного повреждения или размаха напряжений в продолжительном периоде
Дальнейшие действия, при неудовлетворительных результатах оценки	Провести повторную оценку с использованием более точного метода общего анализа райзерной системы. Провести повторную оценку с использованием более точного анализа напряжений при определении ККН. Изменить параметры несварной детали, например минимизировать напряжение в концентраторе (переход по эллипсу может дать более низкое напряжение, чем радиальный переход) и/или изменить толщину детали. Уменьшить эксцентриситет при производстве трубы, соединяемой кольцевым сварным швом, например уменьшить допуски на размеры трубы и соединителя. Улучшить усталостные характеристики с помощью шлифовки кромки лицевой поверхности сварного шва. Выполнить анализ механики разрушения. Внести изменения в программы контроля состояния и/или замены элементов
Формулирование выводов и подготовка информации для персонала изготовителя и персонала, осуществляющего эксплуатацию и контроль райзера	Требования к содержанию инструментального контроля и выявляемости дефектов в процессе производства и эксплуатации. Допуски на изготовление/производство, например контроль и допустимые значения несоосности в процессе производства. Требования к сварке, например улучшение корня сварного шва (сварка вольфрамовым электродом в инертном газе) или выполнение шлифовки кромки лицевой поверхности сварного шва. Эксплуатационные требования, например регистрация событий, определение периодичности обследования и контроля/замены элементов

С.2 Напряжения, подлежащие рассмотрению

С.2.1 Общие положения

Процедура анализа на усталость основана на допущении, что при определении усталостной долговечности необходимо учитывать только размах основных циклических напряжений и среднее напряжение. Среднее напряжение учитывается за счет применения коэффициента уменьшения размаха напряжений f_m. Сторона, на которой ожидается зарождение трещины, называется критической зоной.

Для труб, подвергаемых воздействию основного (осевого) мембранного напряжения S_m, выражения для расчета размаха основных напряжений S, используемые при оценке усталости сварных и несварных компонентов, приведены в таблице С.2. Таблица С.2 также содержит выражение для расчета размаха напряжений при оценке усталости болтов.

Таблица С.2 — Выражения для определения размаха напряжений, подлежащих рассмотрению при оценке с использованием кривой усталости *S—N*

Соединение/компонент	Размах напряжений	Комментарий
Сварные соединения	$S = S_{gs} = f_m \cdot K_m \cdot p_{int} \cdot S_m$	Локальные эффекты вследствие наличия концентраторов напряжений от сварки учитывают при выборе кривой усталости *S—N*. Коэффициент K_m должен учитывать только геометрические отклонения трубы или соединителя, например осевую несоосность. Следует оценивать корень и верхний валик сварного шва на полное проплавление для труб с кольцевыми сварными швами
Несварные компоненты	$S = S_{notch} = f_m \cdot K_{notch} \cdot S_m$	Коэффициенты ККН не учитывают при определении кривой усталости *S—N*. Следует использовать локальный коэффициент концентрации напряжений в концентраторе для масштабирования мембранного (номинального) напряжения в стенке трубы. Для гладкого соединения, усиленного соединения и т. д. следует использовать напряжение в наружной поверхности
Болты	$S = S_m + S_b$	Следует применять мембранное (номинальное) напряжение критического сечения болта, включая размах мембранных и изгибающих напряжений. Кривая усталости *S—N* должна учитывать коэффициент концентрации напряжений во впадине резьбы

Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения:

K_m — геометрический коэффициент концентрации напряжений;

K_{notch} — коэффициент концентрации напряжений;

S_b — составляющая от изгибающего напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений, Па;

S_{gs} — размах напряжений, вызванный наличием геометрического концентратора напряжений, Па;

S_{notch} — размах напряжений в концентраторе, Па.

Следует уделять особое внимание расчету напряжений и коэффициентов концентрации напряжений ККН при проведении анализа на усталость. Относительно небольшие изменения в значениях напряжений и коэффициентов ККН могут привести к значительным изменениям усталостной долговечности. Усталостная долговечность пропорциональна значению размаха напряжений и коэффициентов ККН, которые определяют влияние обратного значения углового коэффициента кривой усталости *S—N* (от 3 до 5). Можно показать, что для наклона кривой усталости *S—N,* равного 3, удвоение размаха напряжений или коэффициента ККН уменьшает усталостную долговечность в восемь раз.

Пример — Для конструктивного компонента с усталостной долговечностью, равной 100 лет, удвоение произведения размаха напряжений и коэффициента ККН приводит к уменьшению усталостной долговечности до 12,5 лет.

С.2.2 Линеаризованные напряжения

Для разделения понятий общих и локальных изгибающих напряжений, в качестве примера на рисунке С.2 показано разложение напряжения для частного случая продольных напряжений в трубе, подверженной воздействию изгибающего момента. Общие формулы для определения мембранного и изгибающего напряжений также приведены в приложении D [формулы (D.9)—(D.12)].

Для рассматриваемого случая учитывают:

- распределение линейных продольных напряжений вдоль поперечного сечения трубы;
- распределение линейных продольных напряжений по толщине стенки;
- мембранное напряжение σ_m, Па, определяемое по формуле

$$\sigma_m = \frac{16 \cdot M_{bm} \cdot (D_o + D_{int})}{\pi \cdot (D_o^4 - D_{int}^4)}, \quad (C.2)$$

где D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

D_{int} — внутренний диаметр трубы, м;

M_{bm} — изгибающий момент в трубе, Н·м;

- изгибающее напряжение (на каждой стороне стенки), определяемое по формуле

$$\sigma_b = \pm \frac{16 \cdot M_{bm} \cdot (D_o - D_{int})}{\pi \cdot (D_o^4 - D_{int}^4)}. \quad (C.3)$$

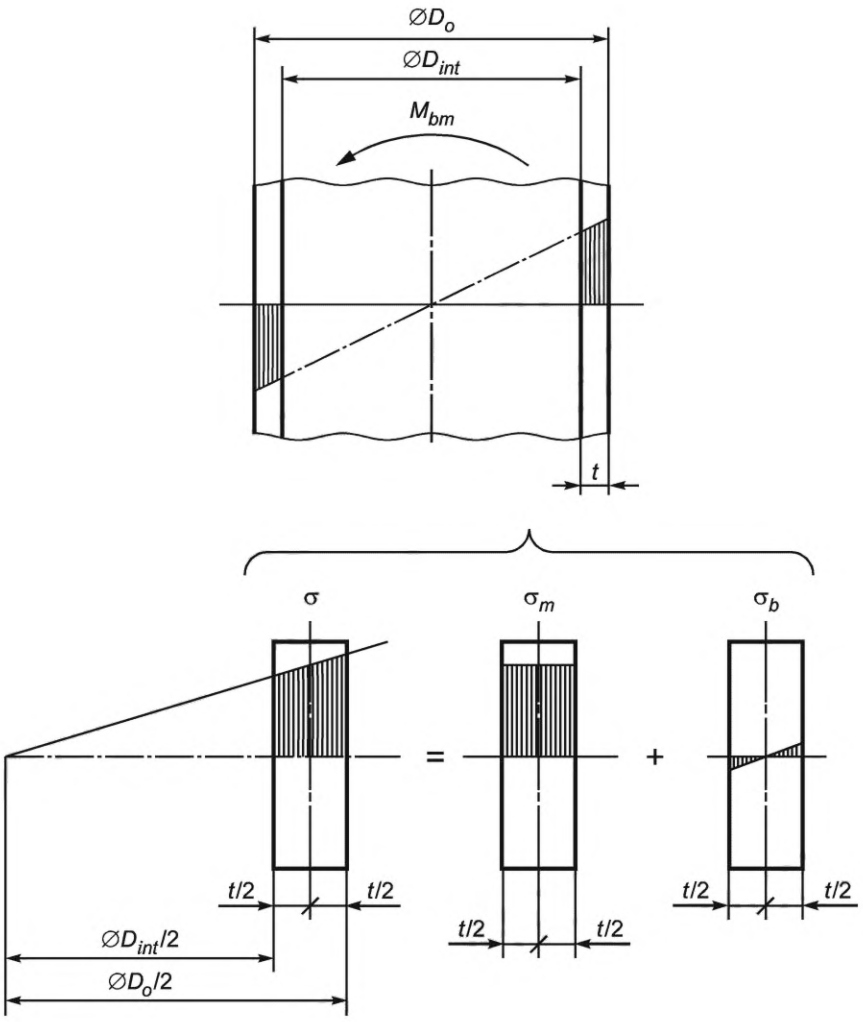


Рисунок С.2 — Разложение продольного напряжения, возникающего в трубе под воздействием изгибающего момента M_{bm}

С.2.3 Сварные соединения

В процессе анализа на усталость сварных соединений используют сумму размаха основного и дополнительного напряжений S_{P+Q_s}, Па, или размах напряжения конструкции и геометрический коэффициент концентрации напряжений K_m, определяемый по формуле

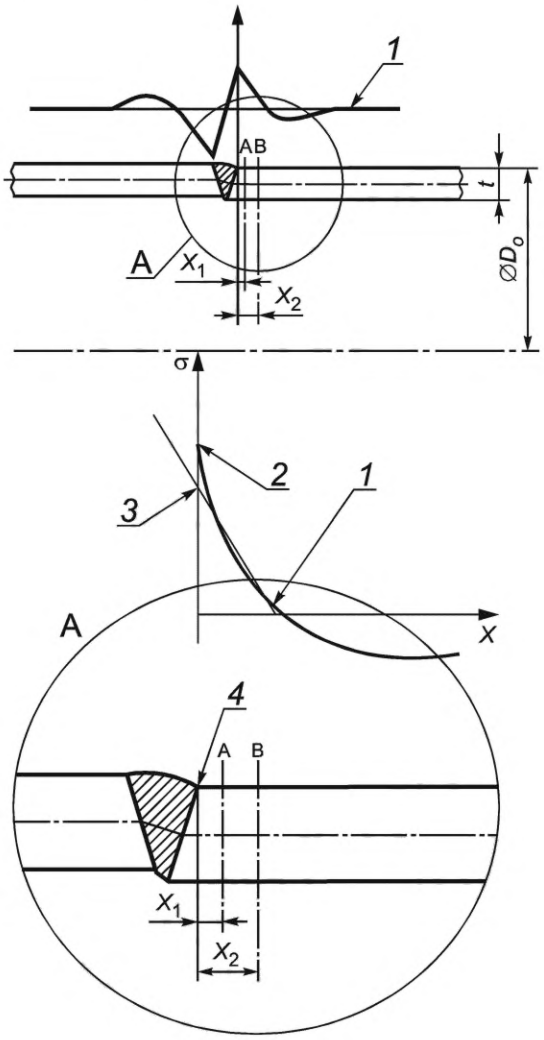
$$K_m = \frac{S_{P+Q_s}}{S_m} = 1 + \frac{S_b}{S_m}, \qquad (C.4)$$

где K_m — геометрический коэффициент концентрации напряжений;

S_m — составляющая от мембранного (среднего) напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений, Па;

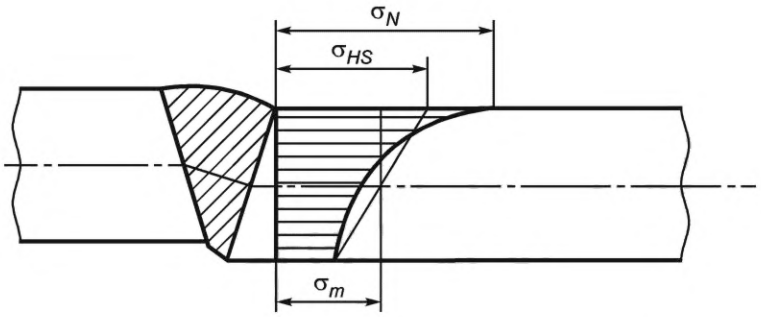
S_b — составляющая от изгибающего напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений, Па.

Если главное (осевое) напряжение конструкции получено при детальном анализе напряжений (например, в процессе анализа методом конечных элементов) или с помощью измерений, напряжение в критической зоне конструкции следует определять из главного напряжения в поверхностном слое посредством экстраполяции с использованием подхода, показанного на рисунке С.3. Расстояния X_1 и X_2 могут быть выбраны равными 0,5t и 1,5t, где t является толщиной стенки трубы, м. Для определения напряжения можно применять различные процедуры (например, см. *[44]*). Тем не менее, при анализе методом конечных элементов напряжение критической зоны конструкции можно определять, как показано на рисунке С.4. Метод линеаризации напряжения по толщине стенки (см. рисунок С.4) является предпочтительным методом, так как получаемый при этом ККН не чувствителен к локализации точек экстраполяции (см. рисунок С.3).



σ — напряжение; *X* — расстояние от кромки лицевой поверхности шва; *1* — общее нелинейное напряжение; *2* — напряжение в концентраторе; *3* — напряжение критической зоны конструкции; *4* — граница внешней поверхности сварного шва

Рисунок С.3 — Иллюстрация напряжений в критических зонах сварного стыка труб



σ_N — напряжение в концентраторе; σ_{HS} — напряжение в критической зоне; σ_m — мембранное (номинальное) напряжение

Рисунок С.4 — Линеаризованное распределение напряжения по толщине стенки

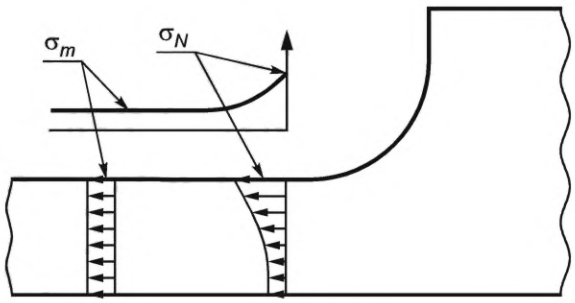
С.2.4 Несварные компоненты

В процессе анализа на усталость несварных компонентов используют сумму размаха основных, дополнительных и пиковых напряжений S_{P+Q_s+F}, Па, или размах напряжения в концентраторе S_{notch}, Па. Напряжение в концентраторе следует рассчитывать с использованием главных напряжений, которые учитывают общее влияние неоднородностей и влияние локальных неоднородностей конструкции. Коэффициент концентрации напряжений K_{notch} определяют как размах напряжений в концентраторе, нормализированный относительно составляющей мембранного (номинального) напряжения, по формуле (см. рисунок С.5)

$$K_{notch} = \frac{S_{P+Q_s+F}}{S_m} = \frac{S_{notch}}{S_m}, \quad (C.5)$$

где S_m — составляющая от мембранного (среднего) напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений, Па.

Для гладкого соединения, усиленного соединения и т. п. следует использовать значение напряжения в наружном слое, т. е. сумму мембранного и изгибающего напряжений в соответствии с С.2.2.



σ_N — напряжение в концентраторе; σ_m — мембранное (номинальное) напряжение

Рисунок С.5 — Иллюстрация локальных напряжений в концентраторе для несварных компонентов

С.2.5 Болты

Для болтов используемый размах напряжений S определяют как сумму размахов мембранного (номинального) и изгибающего напряжений в критической площади поперечного сечения болта $A_{b,s}$, м^2, определяемой по формуле

$$A_{b,s} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{b,f})^2, \quad (C.6)$$

где $d_{b,f}$ — средний диаметр резьбы болта, м.

Критическую площадь поперечного сечения болта стандартной дюймовой серии с углом подъема резьбы 60° определяют по формуле

$$A_{b,s} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_b - \frac{0{,}9743}{n_{thr}}\right)^2, \quad (C.7)$$

где d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта, м;

n_{thr} — число витков резьбы на дюйм.

Для соответствующих метрических резьб критическую площадь определяют по формуле

$$A_{b,s} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b - 0{,}9382 \cdot l_{pitch})^2, \quad (C.8)$$

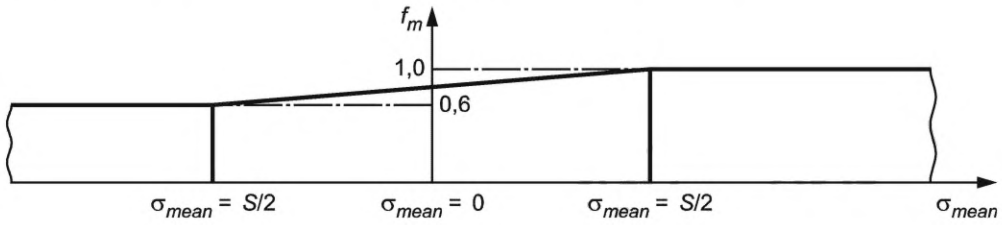
где l_{pitch} — шаг резьбы.

Пример — Критическая площадь для однодюймовых 8UN болтов равна 390,8 мм^2, где d_b = 25,4 мм и n_{thr} = 0,315 мм$^{-1}$ для 8UN болтов с восемью витками резьбы на 25,4 мм.

Следует включать только размах циклических напряжений. Предварительное нагружение резьбового соединения, как правило, уменьшает размах циклических напряжений.

С.2.6 Влияние среднего напряжения

При оценке основного материала, сварных соединений с термической обработкой после сварки или других компонентов с низкими остаточными напряжениями размах напряжений может быть уменьшен в зависимости от того, является ли среднее циклическое напряжение $\sigma_{mean} = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$ растягивающим или сжимающим. Рассчитанный размах напряжений может быть умножен на понижающий коэффициент f_m, как показано на рисунке С.6, перед определением кривой усталости *S—N* (см. таблицу С.2). Для сварных соединений в состоянии после сварки размах напряжений для использования в анализе на усталость следует принимать без уменьшения, несмотря на то, что напряжение является частично или полностью сжимающим, т. е. f_m = 1,0.



f_m — коэффициент уменьшения размаха напряжений; σ_{mean} — среднее напряжение цикла

Рисунок С.6 — Коэффициент уменьшения размаха напряжения для использования с кривой усталости *S—N* для несварных компонентов и сварных соединений с последующей термообработкой

С.2.7 Анализ методом конечных элементов

Для определения напряжений в критических зонах с помощью метода конечных элементов важно иметь непрерывную и равномерную сетку элементов на участках, где следует анализировать напряжения критических зон. На участках с концентрацией напряжений следует использовать увеличенную частоту шага сетки элементов.

Следует тщательно оценивать геометрию элементов для исключения ошибок из-за деформированных элементов (например, углов в диапазоне между 60° и 120° и отношением длина/ширина меньшим, чем 5:1). Следует принимать размер модели достаточно большим, так чтобы полученные результаты не сильно зависели от допущений, принятых в отношении граничных условий и приложения нагрузок.

С.3 Кривые усталости *S—N*

С.3.1 Общие положения

Настоящее руководство по сопротивлению усталости основывается на положениях *[45]*. Могут быть использованы подходы к определению сопротивления усталости, определенные в других стандартах, например *ГОСТ 25.504, ГОСТ 25.507, [46]*. Требования к проектированию с учетом оценки на усталость кольцевых сварных швов для труб приведены в *[47]*.

Проектирование с учетом усталости основано на использовании кривых усталости *S—N*, которые строят на основе результатов испытаний. Используемая при проектировании кривая усталости *S—N* должна быть основана на средних кривых, построенных по экспериментальным значениям за вычетом двух среднеквадратических отклонений. Таким образом, кривые усталости *S—N* соответствуют 97,6 % вероятности неразрушения компонента.

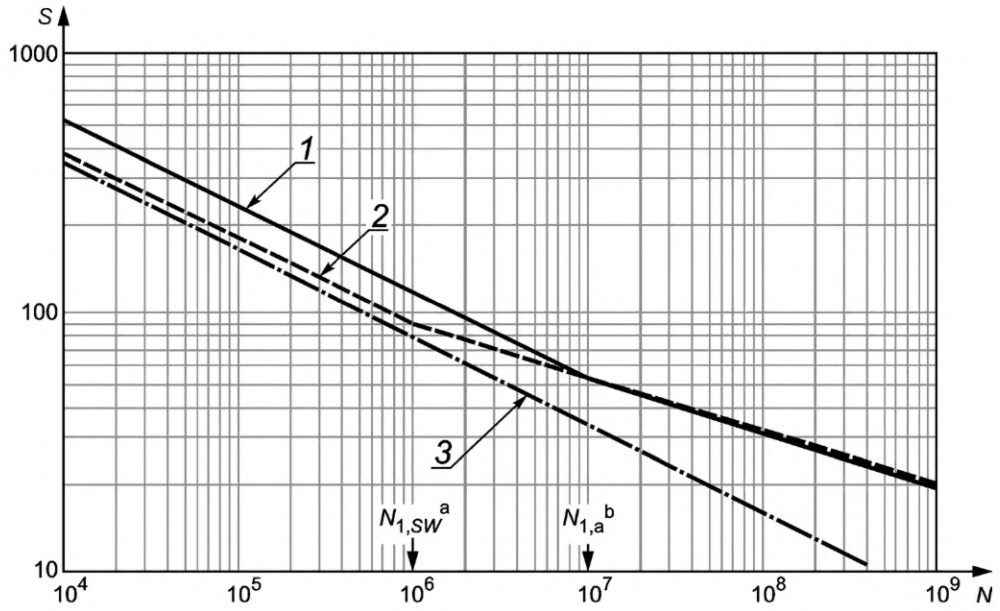
Следует использовать кривую усталости *S—N*, которая применима для материала детали, ее геометрических размеров, направления в детали циклического напряжения, метода изготовления, включая обработку поверхности и методы контроля, а также условий окружающей среды (например, коррозионных свойств флюида, применения катодной защиты в морской воде и значений температуры).

Каждую конструктивную деталь, в которой возможно развитие усталостных трещин, следует отнести к соответствующему классу соединений. Следует отметить, что в сварном соединении существует несколько участков, в которых могут развиваться усталостные трещины. Примерами таких участков являются корень и кромка лицевой поверхности шва в каждой из соединенных частей, концы сварного шва и сам шов (см. рисунок С.4). Каждый участок должен быть классифицирован отдельно. Приведенный подход к классификации соединений используют для

типовых соединений/деталей райзера З/РС, подверженного воздействию циклического изгибающего момента и эффективного натяжения.

Типовые кривые усталости *S*—*N* для трубных кольцевых швов класса D в соответствии с *[45]* показаны на рисунке С.7 для воздушной среды или среды с низкой коррозионной активностью, для условий действия морской воды при наличии катодной защиты и при отсутствии во флюиде углекислого газа или сероводорода.

Следует уделять особое внимание действию внутреннего флюида на райзер З/РС и внешнего флюида в режиме спуска трубной головки при работе внутри морского райзера, особенно для коррозионно агрессивных флюидов. Эксплуатация в присутствии сернистых соединений может уменьшить усталостную долговечность, тогда как усталостная долговечность при работе с малосернистыми флюидами может быть приравнена к работе в воздушной среде. Для условий эксплуатации в присутствии сернистых соединений могут рассматриваться кривые усталости *S*—*N*, применимые для коррозионных условий. Если внутренний флюид относится к коррозионно-неактивным флюидам с частичным содержанием сернистых соединений, то могут использоваться кривые усталости *S*—*N* для морской воды с катодной защитой. В режиме спуска трубной головки с флюидом в морском райзере, характеризующимся низкой коррозионной активностью, могут использоваться кривые усталости *S*—*N* для условий воздушной среды. При эксплуатации без водоотделяющей колонны наружную поверхность райзера можно контролировать с использованием кривых *S*—*N* для условий действия морской воды при наличии катодной защиты.



[a] $N_{1,sw}$ определяет точку перегиба билинейной кривой усталости *S*—*N* 2 (морская вода при наличии катодной защиты).

[b] $N_{1,a}$ определяет точку перегиба билинейной кривой усталости *S*—*N* 1 (воздух или условия отсутствия коррозионно-активной среды).

S — размах напряжений; *N* — количество циклов до разрушения; *1* — воздух или условия отсутствия коррозионно-активной среды; *2* — морская вода при наличии катодной защиты; *3* — эксплуатация в морской воде при отсутствии катодной защиты или эксплуатация в присутствии сернистых соединений

Рисунок С.7 — Типовые расчетные кривые усталости *S*—*N* для труб с кольцевыми сварными швами класса D (см. *[45]*)

Предполагают, что в расчетной кривой для сварных соединений учитывается влияние необнаруживаемых внутренних и наружных дефектов или других геометрических факторов, не учтенных в коэффициентах концентрации напряжений ККН для соответствующего компонента/соединения. Базовое сопротивление усталости представляется в виде кривых усталости *S*—*N*, определяющих количество циклов до разрушения *N* для заданного размаха напряжения *S*, Па, как показано в выражении

$$N = \bar{a} \cdot (S)^{-m} \tag{C.9}$$

или в выражении

$$\log N = \log \bar{a} - m \cdot \log S, \tag{C.10}$$

где $\bar{a}$ — характеристическое сопротивление усталости, определяемое как пересечение расчетной кривой *S*—*N* с осью log *N*;

m — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N*.

Требуется корректировка, т. е. уменьшение сопротивления усталости, для исходной кривой усталости *S—N*, если значение толщины t_n больше, чем значение стандартной толщины t_{ref}. Влияние толщины (размера) учитывают посредством изменения размаха напряжения, т. е. используют такой множитель для значения размаха напряжения, что расчетную кривую усталости *S—N* для толщины больше, чем стандартная толщина, определяют по формуле

$$\log N = \log \bar{a} - m \cdot \log \left[S \cdot \left(\frac{t_n}{t_{ref}} \right)^{k_1} \right], \quad (C.11)$$

где k_1 — показатель сопротивления усталости в зависимости от толщины;

t_n — номинальная (заданная) толщина стенки, мм;

t_{ref} — контрольное значение толщины, равное 25 мм для сварных соединений и болтов (диаметр наиболее нагруженного сечения).

Для $t_n < t_{ref}$ коэффициент $(t_n/t_{ref})^{k_1}$ в формуле (С.11) принимают равным 1,0.

Билинейные (двухнаклонные) кривые *S—N* могут быть выражены зависимостью

$$N = \begin{cases} \bar{a}_1 \cdot S^{-m_1} & S > S_1 \\ \bar{a}_2 \cdot S^{-m_2} & S < S_1 \end{cases}, \quad (C.12)$$

где $\bar{a}_1$ — пересечение расчетной кривой *S—N* с осью log *N* (левая часть кривой *S—N*);

m_1 — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S—N* с точкой перегиба (левая часть);

$\bar{a}_2$ — пересечение расчетной кривой *S—N* с осью log *N* (правая часть кривой *S—N*);

m_2 — умноженное на минус 1 обратное значение углового коэффициента кривой *S—N* с точкой перегиба (правая часть).

Точка перегиба S_1 относится к количеству циклов до разрушения N_1 и определяется по формуле

$$S = \left(\frac{N_1}{\bar{a}_1} \right)^{-\left(\frac{1}{m_1}\right)} = 10^{\left(\frac{\log(\bar{a}_1) - \log(N_1)}{m_1} \right)}, \quad (C.13)$$

где N_1 — определяемое в соответствии с *[45]* число циклов, равное значению 10^7 для условий эксплуатации в воздушной среде и 10^6 для эксплуатации в морской воде при наличии катодной защиты;

S_1 — размах напряжений в точке перегиба, Па (для билинейной кривой усталости *S—N*).

Для случая билинейной кривой с корректировкой по размеру (толщине) детали данные кривой усталости *S—N* определяют по формулам:

$$\log \bar{a}_{1,thick} = \log \bar{a}_1 - m \cdot k_1 \cdot \log \left(\frac{t_n}{t_{ref}} \right), \quad (C.14)$$

$$S_{1,thick} = \left(\frac{N_1}{\bar{a}_{1,thick}} \right)^{-\left(\frac{1}{m_1}\right)}, \quad (C.15)$$

$$\log \bar{a}_{2,thick} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \log \bar{a}_1 + \log N_1 \cdot \left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) - m_2 \cdot k_1 \cdot \log \left(\frac{t_n}{t_{ref}} \right), \quad (C.16)$$

где $\bar{a}_{1,thick}$ — пересечение расчетной кривой *S—N* с осью log *N* (левая часть кривой *S—N* с поправкой на размер);

k_1 — показатель сопротивления усталости в зависимости от толщины;

$S_{1,thick}$ — размах напряжения с поправкой на толщину, Па;

$\bar{a}_{2,thick}$ — пересечение расчетной кривой *S—N* с осью log *N* (правая часть кривой *S—N* с поправкой на размер).

С.3.2 Несварные элементы

Для несварных элементов состояние поверхности после финишной обработки является основным свойством, влияющим на усталостную долговечность.

Для бесшовных труб, катаных, штампованых или кованых компонентов без последующей механической обработки следует применять кривую усталости *S—N* типа В1 (см. *[45]*). При использовании кривой типа В1 необходимо, чтобы острые кромки и поверхностные дефекты детали были подвержены шлифовке.

Для элементов, поверхность которых была подвержена механической обработке, можно ожидать увеличения усталостной долговечности по сравнению с кривой усталости типа В1. Тем не менее, это увеличение должно

быть отражено в документации. Можно использовать альтернативные кривые усталости *S—N*, полученные на основе испытаний.

В качестве альтернативы использования кривой усталости типа В1 или анализа напряжений с использованием данных кривых *S—N* в рамках проектирования могут быть получены специальные кривые усталости для конкретных несварных элементов с использованием методов контроля деформаций или данных испытаний на усталость при контроле деформаций на репрезентативных материалах.

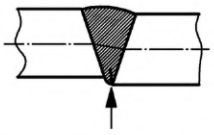
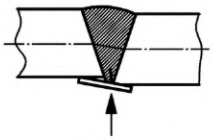
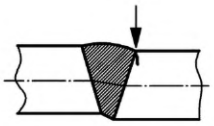
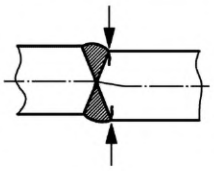
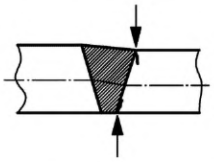
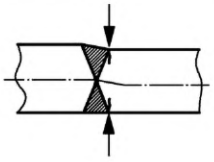
Гладкие элементы могут содержать зашлифованные участки сварных швов, выполненных при проведении ремонта. Наличие отремонтированных участков может привести к снижению усталостной долговечности изделия. Таким образом, в качестве несварных элементов следует рассматривать только изделия, для которых не выполнялись никакие сварные работы.

С.3.3 Сварка встык труб

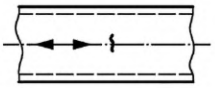
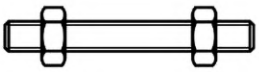
С.3.3.1 Общие положения

На двусторонних сварных швах в состоянии после сварки усталостные трещины, как правило, возникают у кромки наружной поверхности шва, так что сопротивление усталости в значительной степени зависит от наличия превышения выпуклости стыкового шва. При зачистке выпуклости сварного шва удаляют соответствующую концентрацию напряжений и возможное разрушение определяется дефектами сварного шва. Для сварных швов, выполняемых снаружи (односторонних), усталостные трещины, как правило, возникают в корневой части сварного шва. В таблице С.3 приведены типы кривых усталости *S—N* для элементов райзера в соответствии с *[45]* в зависимости от вида соединений.

Таблица С.3 — Кривые усталости *S—N* для райзеров в соответствии с *[45]*

Описание		Допустимая несоосность e^b	Кривая усталости, *S—N*	Показатель степени усталости от толщины k_1	Геометрический ККН K_m
Сварка	Геометрия соединения и критическая зона				
Односторонняя		$e \le$ мин. (0,1 t_n, 3 мм)	F1	0	1,0
		$e >$ мин. (0,1 t_n, 3 мм) $e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	F3	0	1,0
Односторонняя с временной подкладкой		$e \le$ мин. (0,1 t_n, 2 мм)	F	0	1,0
		$e >$ мин. (0,1 t_n, 2 мм) $e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	F1	0	1.0
Односторонняя		$e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	D	0,15[a]	(С.20)
Двухсторонняя		$e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	D	0,15[a]	(С.20)
Односторонняя, механическая обработка корневой части и гладкая зачистка		$e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	C1/C	0	(С.20)
Двухсторонняя с гладкой зачисткой		$e \le$ мин. (0,15 t_n, 4 мм)	C1/C	0	(С.20)

Окончание таблицы С.3

Описание		Допустимая несоосность e^b	Кривая усталости, *S—N*	Показатель степени усталости от толщины k_1	Геометрический ККН K_m
Сварка	Геометрия соединения и критическая зона				
Бесшовная труба		Неприменимо	B1	0	1,0
Компоненты с механической обработкой	См. рисунок С.5	Неприменимо	B1	0	Расчетное значение или см. *[48]*
Стальные болты		Неприменимо	F1 (холодная накатка) W3 (нарезанные витки резьбы)	0,40[a]	1,0

[a] Корректировку сопротивления усталости от толщины применяют только для толщины более чем 25 мм. Увеличение не допускается применять для сечений менее чем 25 мм. Для болтов стандартная толщина соответствует диаметру наиболее напряженного сечения.

[b] Особое внимание уделяется нарушению соосности кольцевых сварных швов на величину, превышающую меньшее из значений 0,15 t_n или 4 мм, например, следует выполнять оценку методом механики разрушения.

С.3.3.2 Двусторонние кольцевые сварные швы. Разрушение корня или верхнего валика сварного шва

Для двусторонних кольцевых сварных швов, выполняемых с использованием любой технологии и в любом положении с точки зрения разрушения корня или верхнего валика сварного шва, необходимо использовать расчетную кривую типа D. Кривая должна быть использована с учетом корректировки в зависимости от значения толщины и с применением ККН, учитывающего наличие несоосности, вследствие отклонения от круглости сечений и несоответствия толщины стенок сопрягаемых труб или трубы и соединителя. Предельное допустимое значение несоосности равно меньшему из значений $0{,}15 \cdot t_n$ или 3 мм. В случае превышения указанного значения несоосности требуется проведение специальных расчетов, например оценки методом механики разрушения.

С.3.3.3 Односторонние кольцевые сварные швы. Разрушение корня сварного шва

Сварные швы райзеров, как правило, выполняют сваркой с внешней стороны с симметричной разделкой кромок сварного шва. Допуски принимают немного более жесткими по сравнению с другими конструктивными элементами с эксцентриситетом меньшим, чем $0{,}1 \cdot t_n$ или не более 3 мм. При производстве райзеров должен быть проведен систематический и стандартный неразрушающий контроль корневой зоны сварных швов, где наличие дефектов является наиболее критичным. Для райзеров с толщиной стенки больше, чем стандартная толщина (25 мм), должны быть применены указания, приведенные в таблице С.3.

Кривая типа F1 учитывает разрушение корня сварного шва с внутренней стороны, но без дополнительного ККН при значении несоосности меньшем, чем $0{,}1 \cdot t_n$ или 3 мм. При большей несоосности тип кривой *S—N* должен быть понижен до F3 без применения дополнительного ККН.

Для односторонних сварных швов с временной подкладкой необходимо применять кривые *S—N* типа F без дополнительного ККН, учитывающего наличие несоосности. Данная кривая имеет более жесткий допуск на максимальное значение несоосности, равный меньшему из значений $0{,}1 \cdot t_n$ или 2 мм, что отражает тот факт, что влияние несоосности уже учтено в кривой *S—N* .

В качестве альтернативы для односторонних сварных швов с полным проплавлением без подкладки и сварных швов с временной подкладкой при проектировании можно применять кривую *S—N* типа E. Данную кривую следует использовать в сочетании с ККН, учитывающим наличие несоосности, но без учета влияния толщины стенки, т. е. $k_1 = 0$ (см. *[47]*).

С.3.3.4 Механическая обработка или зачистка кольцевых сварных швов

Кривая типа C1 может быть использована при проектировании райзера в случае применения двухсторонних сварных швов с механической обработкой поверхности до основного материала на внутренней и внешней сторонах сварного шва (гладкая зачистка).

Механическая обработка должна быть выполнена таким образом, чтобы была удалена локальная концентрация напряжений в сварном шве и убраны подрезы зоны сплавления. Используемый класс C1 кривой *S—N* в данном случае может быть увеличен до класса C при условии высококачественной сварки и отсутствия в сварном шве существенных дефектов, что должно быть подтверждено в ходе неразрушающего инструментального контроля (см. таблицу С.3).

С.3.4 Стальные болты

В болтах усталостные трещины, как правило, возникают во впадине резьбы, поэтому сопротивление усталости в основном зависит от ее формы. Для стальных болтов и резьбовых шпилек с осевым нагружением можно использовать кривую усталости класс F1 для холоднокатаной резьбы без последующей термической обработки, такой как горячее цинкование. Для резьб, изготовленных нарезкой, рекомендуется использовать кривую усталости класса W3. Для болтов диаметром более 25 мм следует применять показатель сопротивления усталости в зависимости от толщины k_1.

Для болтов концентрация напряжений во впадине резьбы увеличивается с увеличением диаметра. Исходя из результатов испытаний на усталость, рекомендуется использовать значение $k_1 = 0{,}40$, которое учитывает влияние размера болта как из-за наличия самого надреза, так и за-за увеличения его длины с увеличением диаметра. Значение показателя сопротивления усталости в зависимости от толщины может быть уменьшено для накатанных резьб. Таким образом, для болтов специального назначения большого диаметра рекомендуется проведение испытаний на усталость некоторого количества болтов для подтверждения используемого при проектировании сопротивления усталости.

С.3.5 Качество изготовления

Усталостная долговечность сварного соединения существенно зависит от локальных концентраторов напряжений, возникающих из-за поверхностных дефектов, включая нарушение сплошности сварных швов и геометрические отклонения, возникающие в процессе производства.

Поверхностными несплошностями сварного шва являются подрезы сварного шва, трещины, натеки, пористость, шлаковые включения и непровар. Дефектами геометрии являются несоосность, угловое коробление, чрезмерное усиление сварного шва и другие формы дефектов сварного шва. Технологические несплошности сварных швов, такие как пористость и шлаковые включения, в меньшей мере влияют на сопротивление усталости, если их уровень поддерживается ниже уровня, принятого для нормального качества изготовления.

В С.4 приведены формулы для расчета коэффициентов концентрации напряжений, вызванных влиянием технологических допусков на центрирование соединяемых деталей при выполнении соединения встык. Подразумевают, что рекомендованные для сварных соединений кривые усталости *S*—*N* учитывают отклонения в пределах, допустимых при хорошем качестве технологии сварки деталей райзеров (см. таблицу 18), при этом подразумевают нормальные значения допусков с учетом технологии производства.

С.4 Коэффициенты концентрации напряжений для труб с кольцевыми сварными соединениями

Коэффициенты концентрации напряжений для кольцевых сварных швов возникают вследствие геометрических отклонений (см. таблицу С.3). Несоосность вызывает локальное вторичное изгибающее напряжение в корне и верхнем валике сварного шва. Для кольцевого сварного соединения труб при наличии несоосности диапазон циклического эффективного натяжения наиболее нагруженного участка ΔT_e, Н, и диапазон изгибающих моментов, ΔM_{bm}, Н·м, следует рассчитывать по формулам:

$$S = K_m \cdot S_m = K_m \cdot \left[\frac{\Delta T_e}{A_c} + \frac{\Delta M_{bm}}{2 \cdot I} \cdot (D_o - t_n)\right]; \tag{С.17}$$

$$A_c = \pi \cdot (D_o - t_n) \cdot t_n; \tag{С.18}$$

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot \left[D_o^4 - (D_o - 2 \cdot t_n)^4\right], \tag{С.19}$$

где S — размах напряжения наиболее нагруженного участка, Па;

K_m — геометрический коэффициент концентрации напряжений;

S_m — составляющая от мембранного (среднего) напряжения в сумме размаха основного и дополнительного напряжений, Па;

A_c — площадь поперечного сечения трубы, м^2;

I — момент инерции в сечении, Н·м;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t_n — номинальная (заданная) толщина стенки трубы, м.

Примечание — Номинальным напряжением при действии изгибающего момента является напряжение для среднего диаметра трубы.

Несоосность в кольцевых сварных соединениях может возникать вследствие относительного смещения центров стенок труб (осевая несоосность) и отклонения (угловая деформация). В любом случае, при приложении к трубе осевого нагружения и изгибающего момента в стенках соединения создаются локальные вторичные напряжения. При проектировании осевая несоосность является определяющей.

Технология сварки элементов райзера нацелена на минимизацию угловой деформации, которая легко обнаруживается посредством измерений у эксплуатируемых райзеров и испытываемых образцов, используемых для получения тестовых данных, которые являются основой при построении кривой усталости *S*—*N* в процессе проектирования. Угловую деформацию необходимо оценивать для райзеров, которые подвержены значительным циклическим осевым нагрузкам.

Общий ККН, возникающий в кольцевом сварном шве при осевой несоосности (эксцентричности), может быть определен по формулам:

$$S_m = 1 + \frac{3 \cdot (e + e_0)}{t_n} \exp\left[-\left(\frac{D_o}{t_n}\right)^{-0,5}\right]; \quad (C.20)$$

$$e_0 = 0,1 \cdot t_n, \quad (C.21)$$

где e — несоосность (смещение осевых линий), м;

e_0 — несоосность, учитываемая в данных для кривой усталости *S*—*N*, м.

Осевая несоосность, которая определяет ККН в кольцевом сварном шве, может возникать вследствие допусков для размеров сопрягаемых труб. Как показано на рисунке С.8, несоосность e может быть выражена как функция, зависящая от отклонения от круглости OOR и толщин стенок сопрягаемых труб $t_{n,\max}$ и $t_{n,\min}$. При проектировании максимальные значения для каждого учитываемого источника несоосности определяют по формулам:

$$e_{OOR,\max} = D_{o,\max} - D_{o,\min}; \quad (C.22)$$

$$e_{t,\max} = \frac{t_{n,\max} - t_{n,\min}}{2} \quad (C.23)$$

и

$$t_{n,\max} = t_n \cdot \left(1 + \frac{\Delta t_{pos}}{100}\right); \quad (C.24)$$

$$t_{n,\min} = t_n \cdot \left(1 + \frac{\Delta t_{neg}}{100}\right), \quad (C.25)$$

где $e_{OOR,\max}$ — максимальная несоосность, вызванная отклонением от круглости, м;

$D_{o,\max}$ — максимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении, м;

$D_{o,\min}$ — минимальный наружный диаметр в любом поперечном сечении, м;

$e_{t,\max}$ — максимальная несоосность, вызванная различием толщин стенок, м;

$t_{n,\max}$ — максимальная номинальная толщина стенки, м;

$t_{n,\min}$ — минимальная номинальная толщина стенки, м;

Δt_{pos} — процентное выражение положительного допуска на толщину стенки;

Δt_{neg} — процентное выражение отрицательного допуска на толщину стенки.

В случае, когда общая несоосность является случайной величиной, общее значение для различных источников несоосности e может быть рассчитано как корень квадратный от суммы квадратов отклонения для каждого источника по формуле

$$e = \sqrt{e_{OOR,\max}^2 + e_{t,\max}^2}. \quad (C.26)$$

Для целей изготовления райзера следует указывать максимальное общее значение несоосности e.

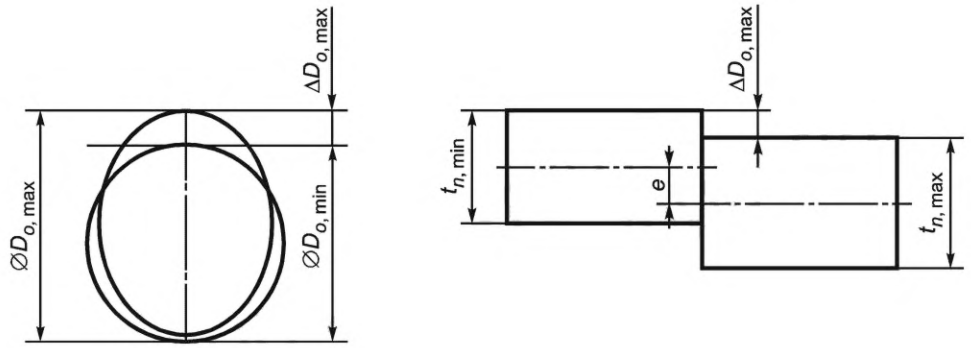


Рисунок С.8 — Несоосность трубных стыковых сварных швов

Пример — Бесшовная труба с наружным диаметром 177,8 мм и толщиной стенки 17,45 мм имеет следующий разброс размеров: максимальное отклонение от круглости OOR равно 1,6 мм и допуск на толщину стенки ±12,5 %. Используя выражения для максимальных значений несоосности и выражения (С.22), (С.23) и (С.26), значение максимального коэффициента концентрации напряжений определяется равным 1,12 из выражения (С.20). Даже при более жестких допусках на толщину стенки и отклонения от круглости концов трубы, для бесшовных труб сложно получить значение коэффициента концентрации напряжений менее 1,2, если сопрягаемые концы труб специально не подготавливают под сварку. Механическая обработка или цекование внутреннего диаметра труб также уменьшает значение коэффициентов концентрации напряжений.

С.5 Общий расчет на усталость

С.5.1 Общие положения

Основой для расчетов усталостного повреждения является общий анализ воздействий, в результате которого определяют распределение циклических напряжений с учетом распределения кратковременных условий внешней среды (состояний моря).

Изменения напряжений от воздействия внешней среды могут иметь место на всех фазах жизненного цикла райзера З/РС, включая изготовление, транспортирование, установку/извлечение, подвешивание и эксплуатацию. Если применимо, необходимо рассматривать условия эксплуатации как внутри бурового райзера, так и в режиме без водоотделяющей колонны. Следует рассматривать следующие источники напряжений, приводящих к накоплению усталости: циклы напряжений с частотой, соответствующей частоте действующих на судно волн, низкочастотные циклы напряжений и циклы напряжений от вибрации, вызванной вихреобразованием. Первые два источника напряжений рассмотрены в С.5.2, циклы напряжений от вибрации рассмотрены в С.5.3.

С.5.2 Анализ на воздействие с частотой волн и низкочастотное воздействие

Усталостное повреждение в основном будет накапливаться вследствие наличия циклов напряжений с частотой волн и низкочастотных циклов напряжений. Циклические напряжения с частотой волн возникают из-за перемещений судна под воздействием волн и прямого действия волн на райзер, а низкочастотные циклы напряжений вызваны перемещениями судна с низкой частотой. Усталостное повреждение является функцией параметров состояния моря, т. е. высоты значительных волн H_s периода волн T_z и основного направления волн θ_W.

Общий подход для расчета накопления повреждения от высокочастотного и низкочастотного воздействия основывается на применении следующей процедуры:

- диаграмму повторяемости волн разделяют на определенное количество репрезентативных блоков (возможно разделение на блоки, учитывающие число всех возможных состояний моря);
- в рамках каждого блока выбирают отдельное состояние моря, характеризующее блок в целом, как правило, это состояние, расположенное в центре блока. Выбранному состоянию моря присваивают вероятность наступления, равную сумме вероятностей наступления всех возможных состояний в рамках рассматриваемого блока;
- усталостное повреждение рассчитывают для каждого выбранного состояния моря, характеризующего каждый отдельный блок.

Накопленное долговременное усталостное повреждение (или мера усталостного повреждения в соответствии с моделью Пальмгрена-Майнера) D_{SN} рассчитывают как взвешенную сумму усталостных повреждений $D_{SN,ij}$, вызванных воздействиями при кратковременном состоянии моря $j(H_s, T_p)$ для основного направления волн (i,θ_W), как показано в формуле

$$D_{SN} = \sum_{i,\theta_W} \sum_{j(H_s,T_p)} q_i \cdot q_j \cdot D_{SN,ij}, \qquad \text{(С.27)}$$

где H_s — высота значительной волны, м;
i — номер направления волны;
θ_W — основное направление волны;
j — номер состояния моря;
q_i — вероятность i-го направления волны;
q_j — вероятность j-го состояния моря;
T_p — период пика спектра волны, с;
$D_{SN,ij}$ — усталостное повреждение для j-го состояния моря и i-го направления волны.

Для узкополосного случайного процесса распределения напряжений могут быть получены аналитические выражения для ожидаемого повреждения в соответствии с моделью Майнера (см. С.6.2).

Используемое при оценке усталости состояние моря, как правило, характеризуется двуразмерными волнами с длинными гребнями. Состояние моря для оценки усталостных повреждений определяется диаграммами повторяемости волн и соответствующими смещениями судна. Для райзеров З/РС с верхним натяжением в процессе анализа на усталость от действия волн установившееся смещение судна и действие течений могут быть приняты равными нулю. Для расчета повреждения следует учитывать долговременное направление волн. Может быть введен поправочный коэффициент, учитывающий кратковременные изменения состояния моря.

Необходимо изучить и учесть влияние нелинейных эффектов. Однако относительно волн с экстремальными параметрами состояние моря с меньшей высотой значительной волны является преобладающим. Следовательно, влияние нелинейности при анализе, как правило, незначительно. Оценка локальных напряжений в зоне периодического смачивания требует проведения анализа во временной области.

Для райзера З/РС с верхним натяжением, подверженного циклическим воздействиям от перемещений судна и действия волн, наиболее критичные с точки зрения усталости зоны располагаются вблизи верхней части райзера (гладкое соединение/зона периодического смачивания) или в области усиленного соединения. Расчет на усталость следует проводить только для погодных условий (состояния моря), при которых допускается эксплуатация райзера, т. е. находящихся в границах установленных эксплуатационных ограничений.

Продольная составляющая напряжений является определяющей при анализе на усталость ровных труб райзера и, следовательно, влияние изгибающих моментов и циклического натяжения необходимо рассматривать применительно к отдельным элементам райзера. Влияние циклических изменений эффективного натяжения райзера, как правило, незначительно благодаря наличию системы компенсации вертикальных перемещений.

Для идентификации критического участка расчет на усталость необходимо проводить для восьми точек, равномерно расположенных по окружности трубы, сварного шва или компонента райзера.

Относительная значимость усталостного повреждения от волнового и низкочастотного воздействия зависит от конструкции райзера и будет меняться по его длине. Рекомендуется проводить оценку относительного вклада в усталостное повреждение райзера циклов напряжений, вызванных волновым и низкочастотным воздействием, для обоснования выбора метода анализа. Усталостное повреждение от низкочастотных циклических воздействий можно не учитывать, если в результате анализа подтверждено, что влияние данного воздействия незначительно по сравнению с усталостными повреждениями от циклических воздействий с частотой волн.

С.5.3 Вибрации, вызванные вихреобразованием

Воздействие на систему райзера З/РС течений или морских волн может приводить к возникновению явления, которое, как правило, определяют как вихреобразование. Чувствительность райзера к воздействию вихрей воды зависит от степени совпадения частоты собственных колебаний конструкции райзера и частоты колебаний участка райзера, подверженного таким воздействиям.

Воздействие вихрей морской воды может вызвать поперечные вибрации райзера, которые называют вибрациями, вызванными вихреобразованием. Амплитуда такой вибрации, как правило, существенно меньше амплитуды циклических колебаний райзера, вызванных перемещениями судна. Однако, вследствие высокой частоты такие вибраций могут вносить существенный вклад в усталостное повреждение райзера, особенно для глубоководных условий. Более детально вопрос вибраций, вызванных вихреобразованием, рассмотрен в *[49] и [50].*

Для прогнозирования вибраций от вихреобразования райзеров в натянутом состоянии могут быть использованы различные подходы, включая использование упрощенных полуэмпирических методов, проведение численного моделирования движения вязкого потока вокруг райзера и проведение испытаний. В *[51]* приведен сравнительный анализ методов, демонстрирующий существенное расхождение результатов, полученных разными методами.

Если в процессе проектирования выявлено, что действие вибрации от вихреобразования существенно влияет на конструкцию райзера, то необходимо использовать более точные методы оценки в сочетании с проведением испытаний.

Многие аспекты вибрации, вызванной вихреобразованием, и ее влияния на усталостное повреждение райзеров изучены не в достаточной мере. При проектировании следует проводить оценку чувствительности конструкции райзера к воздействию вибраций, вызванных вихреобразованием. Во всех случаях, когда это практически целесообразно, следует использовать специальные решения, препятствующие возникновению вибраций от вихреобразования.

Возможность возникновения вибраций, вызванных вихреобразованием, может быть уменьшена при изменении характеристик райзера за счет увеличения его натяжения, увеличения демпфирования или использования специальных устройств в конструкции райзера, подавляющих вихреобразование. Если ожидается, что вибрации, вызванные вихреобразованием, приводят к значительному усталостному повреждению, то необходимо предусмотреть специальную программу мониторинга состояния райзера З/РС в процессе эксплуатации.

С.6 Расчеты накопления усталостного повреждения

С.6.1 Общие положения

Процесс постепенного накопления повреждений под действием случайных переменных нагрузок, как правило, называют усталостным повреждением. В соответствии с графиком зависимости амплитуды напряжений от времени их действие может быть охарактеризовано как узкополосное (см. рисунок С.9, кривая а) или широкополосное нагружение (см. рисунок С.9, кривая b). Воздействие с частотой волн и низкочастотное воздействие в отдельности часто относят к узкополосному нагружению, однако их суммарное воздействие является широкополосным нагружением. Аналитические выражения для оценки повреждения от узкополосного нагружения приводят вместе с методами для оценки усталостного повреждения от широкополосного нагружения.



a) Узкополосное нагружение b) Широкополосное нагружение

σ — напряжение; t — время; $\bar{\sigma}$ — среднее напряжение

Рисунок С.9 — График узкополосного (a) и широкополосного (b) нагружения

С.6.2 Оценка усталости от узкополосного нагружения

С.6.2.1 Общие положения

При оценке повреждения от узкополосного нагружения принимают исходное допущение, что размах напряжений S, Па, может быть определен из значения максимума локального напряжения $S_{a,lm}$ (амплитуды), Па. В узкополосном процессе размах напряжений S равен удвоенному значению соответствующего максимума локального напряжения, его определяют по формуле

$$S = 2 \cdot S_{a,lm}. \tag{С.28}$$

Кроме того, количество циклов напряжений в единицу времени определяется средней частотой перехода через нулевое значение реакции на напряжение ν_0; его рассчитывают на основе спектра моментов напряжений (см. С.6.2.3). При широкополосном процессе нагружения эта модель является консервативной.

Для линейной кривой усталости S—N ожидаемое усталостное повреждение в единицу времени определяют по формуле

$$D_{FAT} = \frac{\nu_0}{\bar{a}} \int_0^\infty S^m \cdot f_s(S) dS = \frac{\nu_0}{\bar{a}} \cdot E(S^m), \tag{С.29}$$

где D_{FAT} — усталостное повреждение;

ν_0 — средняя частота перехода через нулевое значение реакции на напряжение;

$\bar{a}$ — характеристический предел выносливости или пересечение расчетной кривой S—N с осью log N;

$f_s(S)$ — плотность распределения вероятности циклов напряжений;

m — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой S—N.

Ожидаемое усталостное повреждение напрямую связано с моментом порядка m, $E(S^m)$ функции плотности вероятности циклов напряжений. Для билинейной кривой усталости S—N формула определения ожидаемого усталостного повреждения принимает вид

$$D_{FAT} = \frac{\nu_0}{\bar{a}_2}\int_0^{S_1} S^{m_2} + f_s(S)dS + \frac{\nu_0}{\bar{a}_1}\int_{S_1}^{\infty} S^{m_1} + f_s(S)dS, \quad (C.30)$$

где $\bar{a}_2$ — пересечение расчетной кривой *S*—*N* с осью log *N* (правая часть кривой *S*—*N*);

S_1 — размах напряжений в точке перегиба кривой, Па (билинейной кривой *S*—*N*);

m_2 — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N* с точкой перегиба (правая часть);

$\bar{a}_1$ — пересечение расчетной кривой *S*—*N* с осью log *N* (левая часть кривой *S*—*N*);

m_1 — умноженное на минус единицу обратное значение углового коэффициента кривой *S*—*N* с точкой перегиба (левая часть).

Формулы (С.29) и (С.30) являются основными для оценки усталостного повреждения от узкополосного нагружения для каждого состояния окружающей среды (см. С.5.2). Эти формулы можно применять для расчета усталостного повреждения для распределения размахов напряжений в продолжительном периоде (см. С.6.4).

С.6.2.2 Усталостное повреждение от узкополосного нагружения с нормальным распределением

При допущении, что процесс реакции на напряжения является узкополосным и подчиняется нормальному распределению (распределению Гаусса), распределение максимума локальных напряжений (амплитуды) $S_{a,lm}$ определяют как плотность вероятности распределения Рэлея по формуле

$$(S_{a,lm}) = \left(\frac{S_{a,lm}}{\sigma_{SD}^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-S_{a,lm}^2}{2\sigma_{SD}^2}\right), \quad (C.31)$$

где $S_{a,lm}$ — максимум локального напряжения (амплитуда), Па;

σ_{SD} — среднеквадратическое отклонение реакции на напряжения, Па.

Для линейной кривой усталости *S*—*N* усталостное повреждение определяют по формуле

$$D_{SN,ij} = \frac{\nu_0 \cdot \tau_{ss}}{\bar{a}} \cdot (2\sqrt{2}\sigma_{SD})^m \cdot \Gamma\left(\frac{m}{2} + 1\right), \quad (C.32)$$

где τ_{ss} — продолжительность кратковременных состояний моря;

$\Gamma(\phi)$ — гамма-функция.

Гамма-функция описывается выражением

$$\Gamma(\phi) = \int_0^{\infty} e^{-\tau} \cdot \tau^{\phi-1} d\tau, \quad (C.33)$$

где ϕ является переменной.

Для билинейной кривой усталости *S*—*N* соответствующее выражение для усталостного повреждения принимает вид

$$D_{SN,ij} = \nu_0 \cdot \tau_{ss} \cdot \left\{\frac{(2\sqrt{2}\sigma_{SD})^{m_1}}{\bar{a}_1} \cdot \Gamma\left[\left(1 + \frac{m_1}{2}\right); \left(\frac{S_1}{2\sqrt{2}\sigma_{SD}}\right)^2\right] + \frac{(2\sqrt{2}\sigma_{SD})^{m_2}}{\bar{a}_2} \cdot \gamma\left[\left(1 + \frac{m_2}{2}\right); \left(\frac{S_1}{2\sqrt{2}\sigma_{SD}}\right)^2\right]\right\}, \quad (C.34)$$

где верхнюю неполную гамма-функцию и неполную гамма-функцию определяют по следующим выражениям:

$$\Gamma(\phi; z) = \int_z^{\infty} \tau^{\phi-1} \cdot e^{-\tau} d\tau = \Gamma(\phi) - \gamma(\phi; z); \quad (C.35)$$

$$\gamma(\phi; z) = \int_z^{\infty} \tau^{\phi-1} \cdot e^{-\tau} d\tau, \quad (C.36)$$

где $\Gamma(\phi; z)$ — верхняя неполная гамма-функция;

$\gamma(\phi; z)$ — неполная гамма-функция;

ϕ и z — переменные.

Таким образом, усталостное разрушение выражают через среднеквадратическое отклонение и среднюю частоту перехода через нулевое значение реакции на напряжения. Данный подход удобен для анализа в частотной области, при котором результаты общего анализа выражают в форме спектральной плотности $S_{\sigma\sigma}(\omega_{SR})$ реакции на напряжение, где ω_{SR} является угловой частотой реакции на напряжение.

Среднеквадратическое отклонение σ_{SD} и среднюю частоту перехода через нулевое значение ν_0 определяют по формулам:

$$\sigma_{SD} = \sqrt{I_0}; \tag{С.37}$$

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{I_2}{I_0}}, \tag{С.38}$$

где I_0 — момент спектра реакции на напряжение нулевого порядка;

I_2 — момент спектра реакции на напряжение второго порядка.

Спектральный момент n-го порядка I_n определяют по формуле

$$I_n = \int_0^\infty \omega_{SR}^n \cdot S_{\sigma\sigma}(\omega_{SR}) d\omega_{SR}. \tag{С.39}$$

С.6.2.3 Усталостное повреждение от узкополосного нагружения с распределением, не являющимся нормальным

Для анализа во временной области часто используют двухпараметрическое распределение Вейбулла, как обобщение распределения Рэлея для локального максимума, т. е. для негауссовых процессов реакции на напряжения. Плотность распределения Вейбулла для амплитуды напряжения $S_{a,lm}$ определяют по формуле

$$f(S_{a,lm}) = \alpha^{-\beta} \cdot \beta \cdot S_{a,lm}^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{S_{a,lm}}{\alpha}\right)^{\beta}\right], \tag{С.40}$$

где α — параметр масштаба распределения Вейбулла;

β — безразмерный параметр формы распределения Вейбулла (модуль Вейбулла).

Примечание — Распределение Рэлея в выражении (С.31) получено при $\alpha = 2$ и $\beta = \sqrt{2}\sigma_{SD}$.

Распределение Вейбулла может быть применимо для кратковременного (или долговременного) распределения локального максимума. Параметры распределения Вейбулла связаны со статистическими моментами μ_{st} и σ_{st} для локального максимума, определяемыми по формулам:

$$\hat{\mu}_{st} = \alpha \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right); \tag{С.41}$$

$$\hat{\sigma}_{st} = \alpha \cdot \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) + \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)^2}. \tag{С.42}$$

Формулы (С.41) и (С.42) могут быть использованы для определения оценок моментов параметров распределения на основе выборочных оценок μ_{st} и σ_{st} по результатам моделирования во временной области.

Для линейной и билинейной кривых усталости S—N усталостное разрушение для рассматриваемых состояний моря определяют по формулам:

$$D_{SN,ij} = \frac{\nu_0 \cdot \tau_{ss}}{\bar{a}} \cdot (2\alpha)^m \cdot \Gamma\left(1 + \frac{m}{\beta}\right); \tag{С.43}$$

$$D_{SN,ij} = \nu_0 \cdot \tau_{ss} \cdot \left\{\frac{(2\alpha)^{m_1}}{\bar{a}_1} \cdot \Gamma\left[\left(1 + \frac{m_1}{\beta}\right); \left(\frac{S_1}{2\alpha}\right)^{\beta}\right] + \frac{(2\alpha)^{m_2}}{\bar{a}_2} \cdot \gamma\left[\left(1 + \frac{m_2}{\beta}\right); \left(\frac{S_1}{2\alpha}\right)^{\beta}\right]\right\}. \tag{С.44}$$

Следует отметить, что параметр формы распределения Вейбулла β существенно влияет на расчетное значение усталостного повреждения. Когда усталостное повреждение рассчитывают на основе аналитических решений с допущением применения долговременного распределения Вейбулла для размахов напряжений, используемый параметр формы β должен быть выбран с учетом требований к обеспечению безопасности.

С.6.3 Широкополосное усталостное повреждение

Для райзеров реакция на напряжения, как правило, не является в чистом виде ни узкополосной, ни широкополосной (см. рисунок С.10). В графике широкополосной реакции на нагружение отсутствует строгое соотношение между циклами напряжения и максимальными и минимальными значениями напряжения. По этой причине распределение циклов напряжений не может быть оценено по распределению максимумов напряжения. Оценка широкополосного усталостного повреждения имеет особое значение для оценки усталости при комбинированной реакции на напряжения с частотой волн и низкочастотные напряжения. Как правило, это применимо к результатам анализа во временной области, но также может быть применимо к анализу в частотной области с помощью преобразования результатов в частотной области во временную область, например, посредством использования быстрого преобразования Фурье.

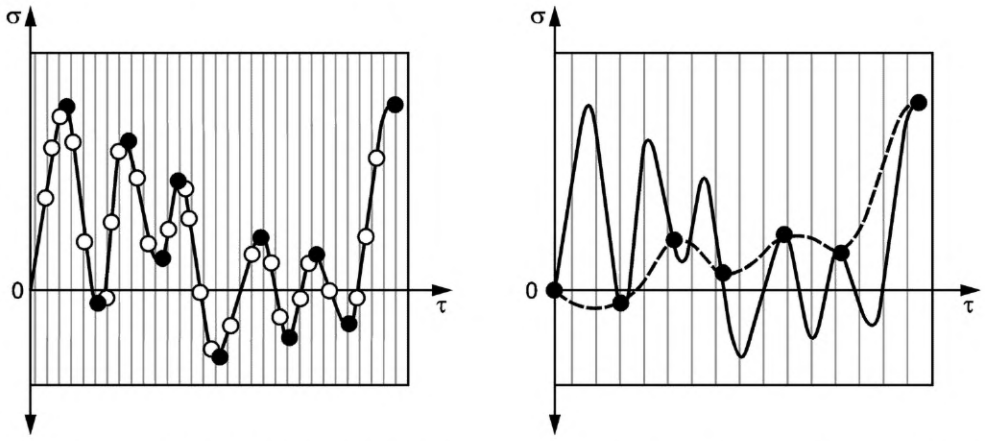
При оценке усталостного повреждения для широкополосного процесса могут быть использованы следующие процедуры:

- алгоритмы циклического расчета;

- полуэмпирические поправки на основе откорректированного широкополосного результата;
- упрощенные аналитические решения для бимодального диапазона.

Общим и рекомендуемым подходом для расчета усталостного повреждения является определение числа полных циклов напряжений в реальных или смоделированных временных рядах напряжений. Были разработаны специальные алгоритмы для определения числа полных циклов напряжений. Рекомендуемым методом является метод «дождя» *в соответствии с ГОСТ 25.101*.

При реализации алгоритма для определения числа полных циклов напряжений выполняют дискретизацию графика изменения напряжения и определяют максимумы и минимумы значений [см. рисунок С.10 a)]. На основе полученных данных выполняют расчет с использованием метода «дождя». При этом важно использовать достаточную частоту дискретизации для гарантированного выявления минимумов и максимумов. При недостаточной частоте дискретизации возникнет так называемый эффект наложения, который приводит к выявлению ложных циклов [см. рисунок С.10 b)]. Следует принимать частоту дискретизации как минимум в десять раз больше, чем наибольшая частота цикла напряжения на графике.



a) Частота дискретизации фактически достаточна

b) Заниженная частота дискретизации приводит к эффекту наложения

σ — напряжение; τ — время

Рисунок С.10 — Метод нахождения максимумов и минимумов

В заключение представляют расчетные результаты, например гистограмму размаха напряжений относительно количества (частоты) циклов напряжений в единицу времени. Также рассчитывают среднее выборочное значение напряжения и стандартное отклонение напряжения. Тем не менее, размах напряжений является основной причиной усталостного повреждения.

Вместо построения гистограмм может быть рассчитана интегральная функция распределения циклов напряжения применительно к аналитической модели, например, распределению Вейбулла.

С.6.4 Долговременное усталостное повреждение

В качестве альтернативного подхода к расчету усталостного повреждения для каждого рассматриваемого состояния моря вначале может быть получено долговременное распределение циклов напряжений с помощью взвешенного суммирования распределения циклов для различных состояний моря. Затем полученное распределение описывают эквивалентным аналитическим распределением типа распределения Вейбулла. Затем соответствующее усталостное повреждение рассчитывают с использованием статистических параметров этого долговременного распределения.

Долговременное распределение размаха напряжений Вейбулла может быть использовано для построения гистограммы напряжений. При применении гистограммы для описания распределения напряжений количество блоков напряжений k следует принимать достаточно большим для обеспечения необходимой точности, но не менее 20. Следует уделять надлежащее внимание выбору метода интегрирования, так как расположение точек численного интегрирования может существенно повлиять на рассчитываемую усталостную долговечность. Данные по прогнозируемым напряжениям, в наибольшей степени влияющие на усталостное повреждение, следует оценивать наиболее тщательно.

Распределение Вейбулла и гистограмма напряжений удобны для установления:

- проектных усталостных нагрузок или вызванных ими напряжений;
- оптимизации коэффициентов концентрации напряжений для компонентов;
- оценки роста усталостной трещины.

Расчет на усталость может быть основан на прогнозируемых значениях напряжений, которые могут быть определены как ожидаемое количество циклов для каждого уровня размаха напряжений в течение прогнозируемого срока службы. Результатом этого является определение долговременного прогноза размахов напряжений, который необходимо оценивать с точки зрения безопасности. Прогноз размаха напряжений, в наибольшей мере влияющих на усталостное повреждение, следует выполнять наиболее тщательно.

Долговременный прогноз размахов напряжений может быть выражен двухпараметрическим распределением Вейбулла (см. С.6.2.3). Это достигается посредством замены продолжительности состояния моря и средней частоты перехода через нулевое значение соответственно на срок службы L_S и среднюю частоту перехода через нулевое значение $\nu_{0,S}$ за срок службы. Для линейной и билинейной кривой усталости *S*—*N* накопленное долговременное усталостное повреждение определяют по формулам:

$$D_{SN} = \frac{\nu_{0,S} \cdot L_s}{\bar{a}} \cdot (2\alpha)^m \cdot \Gamma\left(1 + \frac{m}{\beta}\right); \tag{C.45}$$

$$D_{SN,ij} = \nu_{0,S} \cdot L_s \left\{ \frac{(2\alpha)^{m_1}}{\bar{a}_1} \cdot \Gamma\left[\left(1 + \frac{m_1}{\beta}\right); \left(\frac{S_1}{2\alpha}\right)^{\beta}\right] + \frac{(2\alpha)^{m_2}}{\bar{a}_2} \cdot \gamma\left[\left(1 + \frac{m_2}{\beta}\right); \left(\frac{S_1}{2\alpha}\right)^{\beta}\right]\right\}. \tag{C.46}$$

С.7 Оценка роста усталостной трещины

В качестве дополнения к данным кривой усталости *S*—*N* для анализа усталости можно использовать анализ механики разрушения.

Анализ механики разрушения рекомендуется использовать при оценке допустимых дефектов, определении допустимых критериев приемки изделий при изготовлении и для планирования диагностического обследования на наличие усталостных трещин в процессе эксплуатации. Этот метод позволяет учесть наличие трещиноподобных дефектов и спрогнозировать их развитие при заданном количестве циклов напряжений.

Анализ развития усталостных трещин, как правило, включает следующие основные шаги:

- определение ожидаемого долговременного распределения размаха мембранных (номинальных) напряжений;
- выбор подходящего закона роста трещины с соответствующими параметрами роста трещины для заданных условий внешней среды (см. *[21]* или *[20]*). Параметры роста трещины следует определять как среднее значение плюс два стандартных отклонения;
- оценка ожидаемого (50 %-ная вероятность обнаружения) первоначального размера трещины после изготовления и применения методов неразрушающего контроля или ожидаемого размера любого обнаруживаемого дефекта;
- определение циклического роста трещины в предполагаемой плоскости развития трещины;
- определение конечного размера трещины;
- интегрирование зависимости распространения усталостной трещины относительно долговременного распределения размахов напряжений для определения количества расчетных циклов роста трещины.

В механике разрушения, используемой для оценки усталости, значение распространения трещины за каждый цикл напряжения *da*/*dN* является функцией коэффициента интенсивности циклических напряжений ΔK, определяемого по формуле

$$\Delta K = S \cdot Y \cdot \sqrt{\pi \cdot a}, \tag{C.47}$$

где *S* — размах номинальных (мембранных) напряжений, Па;

Y — поправочный коэффициент интенсивности напряжений;

a — глубина трещины для поверхностных дефектов или половина глубины для внутренней трещины, м.

После определения ΔK может быть рассчитан рост трещины за цикл напряжений d*a*/d*N* с использованием констант *C* и k_{cg}, зависящих от свойств материала с учетом уравнения Пэриса

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^{k_{cg}}. \tag{C.48}$$

Рассчитываемое число проектных циклов до разрушения N_p является количеством циклов, требуемых для распространения трещины от первоначального размера a_0 до допустимой конечной глубины трещины a_f. Число проектных циклов до разрушения может быть определено с помощью вычисления интеграла от уравнения Пэриса по формуле

$$N_p = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C \cdot (\Delta K)^{k_{cg}}}, \quad \Delta K > \Delta K_{th}, \tag{C.49}$$

где ΔK_{th} является пороговым значением коэффициента интенсивности напряжений, ниже которого рост усталостной трещины не происходит.

Рекомендации по анализу усталостной трещины, включая уравнения распространения трещины, значения констант C и k_{cg}, расчет пороговых значений роста трещин и диапазона коэффициента интенсивности напряжений приведены в *[20], [21]* или других действующих стандартах.

В процессе анализа роста усталостной трещины следует учитывать возможный рост трещины как в глубину материала, так и в поперечном направлении, и рассчитывать распределение напряжений по толщине и в плоскости окружности, нормальной по отношению к направлению распространения трещины.

Исходный размер трещины, используемый в процессе расчета ее роста под действием проектных циклических напряжений, должен быть определен с применением методов неразрушающего контроля. Если в процессе неразрушающего контроля осуществляют только измерение длины трещины и определяют ее расположение на поверхности, то должны быть сделаны допущения относительно возможной глубины и формы первоначальной трещины. Необходимо учитывать, что параметры поверхностного дефекта влияют на концентрацию напряжений, например, форму вершины или корня сварного шва следует принимать полуэллиптической с отношением глубины к общей поверхностной длине больше 5. Принимаемый первоначальный размер трещины может учитывать оценку вероятности обнаружения дефекта при неразрушающем контроле, равную 50 % вероятности обнаружения трещины для применяемого метода.

Для поверхностных трещин, начинающихся от границы между сварным швом и основным материалом, при отсутствии фактических данных, глубину трещины можно принимать равной 0,15 мм. Такие поверхностные трещины возникают из-за подрезов или микротрещин у основания подрезов. В качестве предполагаемого отношения глубины трещины к общей поверхностной длине следует принимать достаточно небольшое значение, например, менее чем 1:5. Для удаления подрезов, увеличения достоверности результатов неразрушающего контроля и улучшения усталостных свойств может быть выполнена небольшая шлифовка участков с дефектом.

Для односторонних кольцевых сварных швов дефекты типа неполного проплавления достаточно сложно выявляются при проведении инструментального контроля. На практике глубину дефектов между 1,0 мм и 2,0 мм можно рассматривать в качестве граничных значений обнаружения корневых дефектов с использованием ультразвуковой дефектоскопии. При использовании высококачественной ультразвуковой дефектоскопии первоначальные размеры трещины в корне сварного шва для анализа на усталость могут быть приняты равными 1,5 × 10 мм. Сварку корневого прохода вольфрамовым электродом в среде инертного газа при незначительном эксцентриситете кольцевых сварных швов можно рассматривать в качестве меры повышения сопротивления усталости корня сварного шва. Подготовка труб/компонентов с внутренней высадкой и механическая обработка корневого прохода может также быть рассмотрена в качестве меры повышения сопротивления усталости сварного шва.

Допустимый конечный размер трещины не должен превышать четверть толщины стенки (см. 7.2.10) (стандартная практика) или значение критического размера трещины, определяемую при анализе на усталость с использованием диаграмм (см. *[20] и [21]*).

Как правило, предполагают, что сжимающие напряжения не способствуют развитию трещины. Тем не менее, для сварных деталей с остаточными напряжениями следует принимать полный размах напряжений независимо от среднего уровня напряжения. Необходимо рассматривать только составляющие напряжения, направленные перпендикулярно к плоскости распространения трещины.

При проектировании количество циклов напряжений до достижения предельного значения трещины может быть определено с помощью численного интегрирования скорости роста трещины. Для подтверждения соответствия установленным ограничениям на интервал значений глубины/ширины трещины необходимо повторять расчеты с увеличением интервала размеров до тех пор, пока изменения в рассчитанных количествах проектных циклов станут незначительными.

Принимаемый при расчете числа циклов развития трещины размер выявленных дефектов должен быть основан на показателях точности оборудования, применяемого для определения длины, глубины, расположения и ориентации трещиноподобных дефектов. Наличие усталостных трещин не является ограничением для эксплуатации райзера З/РС. Рекомендации по ремонту выявленных дефектов с помощью шлифовки приведены в С.8.2.

С.8 Повышение усталостной долговечности при производстве

С.8.1 Общие положения

Методы увеличения сопротивления усталости сварных соединений могут быть разделены на две основные категории:

- удаление дефектов сварных швов и изменение формы сварного шва, например, с помощью плоского механического шлифования или термическими методами, такими как финишная обработка с использованием плазменной сварки, сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа;
- механические методы снятия остаточных напряжений.

Следует отметить, что обработка границы наружной поверхности сварного шва не повлияет на усталостную долговечность, если наиболее вероятным режимом разрушения является образование усталостных трещин в корне сварного шва. Проводить обработку границы наружной поверхности сварного шва целесообразно только, когда корень сварного шва не рассматривают в качестве критической начальной точки. Наиболее распространенными методами повышения усталостной долговечности в процессе изготовления райзера З/РС являются изменение про-

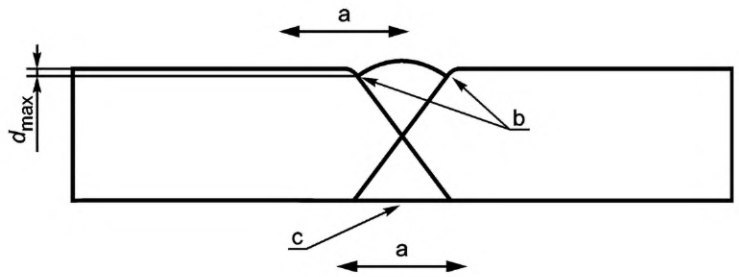
филя сварного шва, шлифование, финишная обработка с использованием сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа и ударное упрочнение. В настоящем разделе рассматривается только механическое шлифование сварного шва.

Ударную обработку локальных участков, таких как граница наружной поверхности сварного шва, применяют вместе со шлифованием, при этом шлифование выполняют с целью удаления концентраторов напряжений, таких как поверхностные дефекты, и создания направляющей канавки для инструмента на участке ударной обработки. Как шлифование, так и ударная обработка, требуют наличия соответствующего опыта и проведения специальной подготовки, и, как правило, не проводят на производственных площадках для изготовления райзера. Более подробная информация о данных технологических процессах приведена в *[45], [52] и [53].*

С.8.2 Шлифование сварных швов

Для сварных соединений, подверженных риску возникновения трещин на границе наружной поверхности сварного шва, повышение сопротивления усталости посредством увеличения усталостной долговечности как минимум в два раза, может быть достигнуто посредством локального шлифования границы наружной поверхности сварного шва. Шлифование проводят для придания кромке наружной поверхности сварного шва формы, необходимой для уменьшения коэффициента концентрации напряжений и удаления опасных дефектов сварного шва (см. рисунок С.11). Необходимо отметить следующее:

- для удаления подрезов следует зачистить границу наружной поверхности сварного шва для формирования плавного перехода и углубить ее ниже поверхности с целью удаления дефектов;
- шлифование следует проводить ниже поверхности минимум на 0,5 мм и ниже основания любых видимых подрезов для удаления открытых дефектов, используя шлифовальный ротационный напильник;
- следы шлифования не должны быть направлены параллельно оси сварного шва, а должны располагаться под надлежащим углом;
- максимальная глубина шлифования не должна превышать меньшего из значений: 2 мм или 5 % толщины;
- диаметр шлифовального ротационного напильника должен быть не менее 6 мм для формирования минимального радиуса профиля сварного шва после зачистки менее 6 мм;
- после завершения зачистки границы наружной поверхности сварного шва следует провести визуальный контроль и магнитопорошковую дефектоскопию 100 % поверхности, подвергнутой шлифованию;
- на поверхности шва после шлифования должны отсутствовать трещины или их следы, а также признаки подреза или наплыва.



[a] Направление шлифования.
[b] Зачистка для удаления кромки подреза.
[c] Удаление наплыва до уровня поверхности трубы.

d_{max} — максимальная глубина шлифования относительно поверхности

Рисунок С.11 — Шлифование границы наружной поверхности сварного шва

Должна быть разработана детальная рабочая процедура шлифования. В рабочей процедуре должны быть определены шлифовальные инструменты, направление шлифования, шероховатость поверхности и конечный профиль поверхности сварного шва. Могут быть подготовлены контрольные образцы типовых соединений и секций для использования в процессе приемки обработанных сварных швов.

Шлифование обеспечивает увеличение усталостной долговечности только для сварных соединений, расположенных на воздухе или надлежащим образом защищенных от коррозии вследствие воздействия морской воды.

Шлифование также улучшает качество контроля после производства и обследования в процессе эксплуатации.

С.9 Продленная усталостная долговечность

Продленная усталостная долговечность имеет место, когда расчетная усталостная долговечность превышает общий срок эксплуатации, умноженный на коэффициент использования. С другой стороны, продленная усталостная долговечность может быть основана на результатах инструментального контроля наиболее нагруженных участков, выполняемого в течение всего срока службы райзера. Такая оценка должна быть основана на следующих данных:

- результатах анализа расчетного роста трещин, содержащих характеристики роста трещины, т. е. длину и глубину трещины как функцию от времени и количества циклов напряжений;

- точности и надежности используемых методов инструментального контроля, и времени, прошедшем с даты последнего инструментального контроля. Для контроля поверхностных трещин рекомендуется использовать вихретоковый метод или магнитопорошковую дефектоскопию.

Для сварных соединений, подвергнутых очистке и неразрушающему инструментальному контролю на наличие усталостных трещин, можно применять следующую процедуру расчета продленной усталостной долговечности. Накопленное усталостное повреждение для рассматриваемого участка может быть принято равным нулю при условии, что материал с поверхности был удален шлифованием до глубины приблизительно 1,0 мм и по результатам неразрушающего инструментального контроля подтверждено отсутствие усталостных трещин на наиболее нагруженном участке у кромки наружной поверхности сварного шва. При обнаружении усталостной трещины необходимо выполнить дальнейшее шлифование для удаления всех признаков этой трещины. Если при шлифовании удалено более 10 % толщины, то при оценке новой усталостной долговечности необходимо учитывать влияние уменьшения толщины на увеличение напряжений. Уменьшение толщины также необходимо учитывать при контроле предела прочности на разрыв и избыточной пластической деформации.

Следует отметить, что усталостные трещины, распространяющиеся от корня сварного шва, сложно выявить при проведении инструментального контроля. Кроме того, усталостная долговечность таких участков не может быть продлена шлифованием поверхности сварного шва.

Также следует учитывать, что существует вероятность наличия производственных дефектов на соседних участках, расположенных в непосредственной близости от нагруженного участка, на котором было выполнено восстановление посредством локального шлифования выявленных трещин. При этом соседние участки также были подвержены существенному усталостному нагружению, но на них не была проведено шлифование.

Приложение D
(обязательное)

Методы оценки сопротивления материалов

D.1 Введение

D.1.1 Цель

В приложении D приведены рекомендации и критерии соответствия для методов, которые могут быть использованы при определении пластического разрушения или прочностных характеристик компонентов под воздействием предельных нагрузок. В приложении D не рассматривается разрушение из-за малоцикловой усталости и потери устойчивости.

D.1.2 Методы

Устойчивость элементов райзера к пластическому разрушению или их прочностные характеристики при воздействии предельных нагрузок следует определять с помощью расчетов или экспериментальных испытаний. Проектные решения, сформированные на основе результатов испытаний или эксплуатационных данных, следует подтверждать расчетами.

Конструктивный расчет включает выполнение вычислений и проведение анализа с использованием методов численного моделирования. Проведение вычислений предполагает определение сопротивления с помощью аналитических формул, например методов расчета по допустимым напряжениям или по предельным нагрузкам. Результаты вычислений следует проверять с использованием методов численного моделирования и/или посредством проведения испытаний.

Проектирование на основе результатов методов численного моделирования (например, метода конечных элементов или метода граничных элементов), включает:

- расчет упругих деформаций;
- анализ предельных состояний на основе модели идеального упругопластического материала и теории малых упругопластических деформаций;
- анализ пластического разрушения на основе фактического деформационного упрочнения материала и теории пластичности при больших деформациях.

Примечание — Определение толщины стенки труб на основе аналитических формул (см. 6.5) является предпочтительным при проектировании райзера по сравнению с применением методов численного моделирования или использования результатов испытаний.

Для верификации проектных решений могут быть проведены испытания (см. D.2.5).

Расчет на усталость следует проводить в соответствии с положениями 6.4.9.

Напряжения в элементах должны быть объединены с использованием критерия Мизеса, но также можно применять теорию наибольших касательных напряжений Треска.

D.1.3 Предел прочности при предельных нагрузках

Напряжение при расчетной нагрузке S_d, МПа, должно удовлетворять следующему критерию предела прочности:

$$S_d \le F_d \cdot R_{uc} = \frac{2}{3} \cdot C_f \cdot R_{uc}, \tag{D.1}$$

где F_d — коэффициент использования;

R_{uc} — предел прочности материала, МПа (см. 6.2.4);

C_f — коэффициент использования для условий нагружения (см. таблицу D.1).

Таблица D.1 — Коэффициент использования для условий нагружения

Условия нагружения (случай)	C_f	Основа для расчета вида отказа
Сборка (закрепление болтами или свинчивание) и разборка (развинчивание)	1,35	Основывается на фактических расчетных значениях при температуре выполнения сборки/разборки
Заводские приемо-сдаточные испытания, гидростатическое испытание под давлением	1,35	Основывается на фактических значениях при температуре проведения испытания и свойствах флюида (гидростатического испытания)
Нормальная эксплуатация	1,00	Основывается на толщине стенки, подверженной коррозии, при проектной температуре металла

Окончание таблицы D.1

Условия нагружения (случай)	C_f	Основа для расчета вида отказа
Эксплуатация в нештатных условиях	1,20	Основывается на толщине стенки, подверженной коррозии, при проектной температуре металла
Испытание системы под давлением (в процессе эксплуатации)	1,20	Основывается на толщине стенки, подверженной коррозии, при температуре испытания
Временные операции	1,20	Основывается на толщине стенки, подверженной коррозии, при фактической температуре металла
Аварийное состояние (обеспечение живучести)	1,50	Основывается на толщине стенки, подверженной коррозии, при фактической температуре металла
Примечание — Допустимую нагрузку на компонент устанавливают с помощью коэффициента использования для предела прочности материала. Это означает, что общий минимальный запас прочности относительно превышения предела текучести для нормальных (проектных) условий эксплуатации составляет 1,5 для основных нагрузок. При анализе предельных нагрузок допустимое напряжение составляет две трети предела текучести для нормальных условий.		

D.2 Избыточная пластическая деформация

D.2.1 Общие положения

В D.2.1 приведены положения по контролю избыточной пластической деформации конструктивных компонентов.

Для компонентов со сложной геометрической формой и/или сложной схемой нагружения ранжирование напряжений при расчете упругих деформаций требует от проектировщика глубоких знаний в данной области. Это особенно актуально для трехмерных полей напряжений. Применение методов анализа для упругопластического материала рекомендуется в случае, когда процесс ранжирования напряжений может дать неоднозначные результаты.

Использование результатов расчета по упругой модели и классификация напряжений в целях обоснования структурной целостности для работающих под давлением толстостенных компонентов (с соотношением диаметра к толщине стенки меньше 10), особенно, в окрестности конструктивных неоднородностей, может приводить к неконсервативным результатам и не рекомендуется. Получение неконсервативных результатов объясняется нелинейными распределениями напряжений в толстостенных сечениях, которые не могут быть точно представлены линейным распределением напряжений, используемым в процедуре категоризации и классификации напряжений. Ошибки при распределении напряжений возрастают в случае возникновения пластичности. Например, при расчете пиковых напряжений в элементе толщины стенки, размеры которого превышают 5 % от толщины стенки, линейный анализ упругости может привести к неконсервативному результату. В этих случаях рекомендуется выполнение анализа для упругопластического материала.

Оценки прочности конструкции, полученные в рамках упругой модели, могут лишь приближенно характеризовать возможное развитие пластичности. Более точное моделирование, обеспечивающее защиту от избыточной пластической деформации, подразумевает использование упругопластических моделей для получения предельных нагрузок или нагрузок, приводящих к пластическому разрушению, оценочных характеристик деформации и целостности в отношении обеспечения герметичности.

D.2.2 Анализ методом конечных элементов

Анализ методом конечных элементов должен быть проведен для всех деталей, которые определяют прочность и герметичность компонента.

При анализе методом конечных элементов должны быть предусмотрены меры для использования надлежащих типов элементов, пространственное разрешение расчетной сетки модели, назначения размеров и формы элементов и определения граничных условий. Для определения повышенных напряжений и локальных пластических деформаций расчетная сетка модели на критических участках должна иметь более высокое пространственное разрешение. Более того, важно иметь непрерывную и без резких изменений плотность элементов сетки на участках, где должны быть проанализированы напряжения/деформации. Следует проводить анализ чувствительности к сетке разбиения на элементы для обеспечения достоверности прогнозирования результатов. Следует предусматривать проверку качества пространственной сетки модели.

Там, где присутствует значительное влияние нелинейности (свойства материала, наличие трения, контакта, потери устойчивости), должен быть проведен нелинейный анализ. Трехмерный анализ следует применять для прогнозирования точного сопротивления деталей несимметричной формы (например, разрезные кольца, болты и отверстия под болты) при наличии несимметричных нагрузок и напряжений. Следует включать в модель контакт-

ные пары для представления взаимодействия между контактирующими поверхностями, например контакт между витками резьбы, двойной/одинарный упор в резьбовых соединениях, контактирующие поверхности фланцев, поверхности уплотнений и канавок под уплотнения, взаимодействие гайки и фланца.

Примечание — Метод расчета упругих деформаций требует разделения напряжений по категориям на основные и дополнительные. Такое разделение не всегда очевидно. Один из примеров — классификация напряжения свинчивания во втулке фланца. Упругопластический анализ не требует категоризации на основные и дополнительные напряжения и дает единственный результат (которого в общем случае нет при категоризации напряжений). Упругопластический анализ методом конечных элементов обеспечивает более реалистичное и точное моделирование напряжений, деформаций и смещений, чем упругий анализ, включая перераспределение локальных нагрузок из-за пластических деформаций до максимальной несущей способности или сопротивления.

Если соединитель может быть рассмотрен как осесимметричный, а труба подвергается эффективному натяжению T_e и изгибающему моменту M_{bm}, то момент может быть преобразован в эквивалентную осевую нагрузку. Общую осевую нагрузку, действующую на трубу, определяют по формуле

$$T_{tot} = T_e \cdot T_{eq}, \tag{D.2}$$

где T_{eq} — эквивалентное натяжение вследствие действия изгибающего момента M_{bm}, определяемое по формуле

$$T_{eq} = \frac{M_{bm} \cdot r}{I} \cdot A_c = M_{bm} \cdot \frac{32 \cdot t_2 \cdot (D_o - t_2)^2}{D_o^4 - (D_o - 2 \cdot t_2)^4}, \tag{D.3}$$

где T_{eq} — эквивалентное эффективное натяжение, вызванное изгибающим моментом, Н;

r — средний радиус трубы, М;

I — момент инерции трубы, м^4;

A_c — площадь поперечного сечения трубы, м^2;

t_2 — толщина стенки трубы без допусков, м;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м.

Данная концепция эквивалентного эффективного натяжения простая и немного консервативная, особенно для компонентов, где передающий нагрузку диаметр компонента существенно отличается от среднего диаметра трубы. Могут быть также использованы альтернативные верификационные формулы.

Примечание — Моделирование болтовых отверстий при осесимметричном анализе фланцев методом конечных элементов требует расчета искусственно ухудшенных или модифицированных свойств материала. Это необходимо для учета измененной жесткости из-за неоднородности отверстий. Данный подход не рекомендуется для упругопластического анализа предела прочности и требуется выполнение некоторых видов трехмерного анализа, либо анализа половины болтового сектора для симметричного нагружения или половины фланца для нагружения изгибающим моментом. Овальность поперечного сечения трубы вследствие действия изгибающего момента не принимают во внимание при осесимметричном анализе.

Должны быть построены кривые «нагрузка — перемещение» и выполнена их оценка для компонентов, несущих основную нагрузку в соединениях, таких как фланцы и болты, в дополнение к контактному усилию, такому как давление в уплотнении и контактное давление при действии нагрузки.

Необходимо рассматривать влияние допусков, особенно для размеров уплотнительных колец и диаметров канавок под уплотнения. Следует проводить анализ чувствительности в отношении следующих значимых параметров:

- допуски на геометрические размеры, например уплотнений и элементов, являющихся концентраторами напряжений;
- трение;
- предварительное нагружение;
- расчетная прочность материала деталей в компоненте, включая трубу, сварные швы, болты и т. д.

Для несущих нагрузку уплотнений их сопротивление следует оценивать с учетом обеспечения герметичности под действием нагрузок в процессе свинчивания и последующей эксплуатации. Оценку необходимо проводить для условий высокого и низкого внутреннего давления в сочетании с внешним давлением.

Модель для анализа методом конечных элементов должна включать участок сопрягаемой трубы достаточной длины для исключения граничных эффектов. Должны быть проанализированы сварные швы соединенных труб. Особое внимание следует уделять концентрации напряжений, возникающих во внутренних и внешних сварных швах из-за влияния соединителя или компонента.

D.2.3 Расчет упругих деформаций — категоризация напряжений

В таблице D.2 приведены ограничения для линеаризованных напряжений, удовлетворяющих расчетным нагрузкам, включая чистый сдвиг и статические сминающие нагрузки.

Проверки прочности должны быть выполнены для всех применимых сечений компонентов и в прилегающих секциях труб, где напряжения зависят от воздействий на компонент.

Для фланцев подлежат проверке цилиндрические втулки, параллельные оси фланца и часть фланца, содержащая отверстия для болтов.

Для оценки напряжений от проектных нагрузок сами нагрузки должны быть вначале линеаризованы. Напряжения от линеаризованных нагрузок должны быть разделены на основные и дополнительные.

Для предварительно нагруженных компонентов разделение напряжений на основные и дополнительные для последующего анализа условий нагружения является сложной задачей. В этих случаях рекомендуется выполнять упругопластический анализ или использовать предельные нагрузки, определяемые аналитическими методами.

Для компонентов райзера критерии допустимых напряжений, приведенные в таблице D.2, применимы для комбинированных эквивалентных напряжений Мизеса, полученных из линеаризованных напряжений. При наличии напряжения сжатия необходимо выполнять оценку потери устойчивости.

Если напряжения от предварительного нагружения и температурного расширения рассматривают как дополнительные, то изготовитель должен показать, что любые постоянные деформации от предварительного нагружения не приводят к потере функциональности.

Таблица D.2 — Категории напряжений и допустимые напряжения

Линеаризованное эквивалентное напряжение по Мизесу	Допустимое напряжение	
	Общее	Болты (зона впадины)
Общее основное мембранное напряжение P_m [a, e]	$(\sigma_{eq})_{P_m} \le \frac{2}{3} \cdot C_f \cdot \sigma_y$	$(\sigma_{eq})_{P_m} \le \frac{2}{3} \cdot C_f \cdot \sigma_y$
Локальное основное мембранное напряжение P_l [b]	$(\sigma_{eq})_{P_l} \le C_f \cdot \sigma_y$	Неприменимо
Основное мембранное (общее или локальное) плюс основное изгибающее напряжение ($P_m + P_{bs}$) или ($P_l + P_{bs}$)	$(\sigma_{eq})_P \le C_f \cdot \sigma_y$	$(\sigma_{eq})_P \le C_f \cdot \sigma_y$
Основное (P) плюс дополнительное (Q_s) мембранные напряжения + изгибающее напряжение	Неприменимо	$(\sigma_{eq})_{P_m+Q_{ms}+P_{bs}} \le 0{,}75\ C_f \cdot \sigma_y$
Основной плюс дополнительный размах напряжений[c] ($P_m + P_{bs} + Q_s$) или ($P_l + P_{bs} + Q_s$)	$(\Delta\sigma_{eq})_{P+Q_s} \le 2{,}0 \cdot \sigma_y$	$(\Delta\sigma_{eq})_{P+Q_s} \le \sigma_y$ [d]
Основное среднее касательное напряжение P_{sh}	$(\tau_{sh})_{P_m} \le 0{,}4 \cdot C_f \cdot \sigma_y$	$(\tau_{sh})_{P_m} \le 0{,}4 \cdot C_f \cdot \sigma_y$
Среднее напряжение смятия P_{br} [f, g]	$(\sigma_{br})_{P+Q_s} \le \sigma_y$	Неприменимо

[a] Соответствие ограничениям общих мембранных основных напряжений для труб, соединенных с компонентом, достигается за счет толщины стенки трубы, следовательно напряжения не допускается контролировать данным методом.

[b] Расстояние, на котором основное мембранное напряжение P_l превышает 0,75 предела текучести, не должно превышать значения $\sqrt{r \cdot t_2}$ по направлению оси.

[c] Допустимые значения основного плюс дополнительного размаха напряжений для компонента приведены для контроля упругих деформаций после нескольких циклов рабочих нагрузок, имеющих максимальный размах. При определении максимального размаха для основного плюс дополнительного напряжений необходимо рассмотреть сочетания циклов различной природы, которые могут привести к общему размаху напряжений, большему, чем размах напряжений при любом отдельном цикле.

[d] Дополнительные напряжения после сборки болтового соединения включают напряжения от предварительного нагружения и от теплового расширения.

[e] В процессе болтового соединения напряжение болта является основным.

[f] В случае, когда расстояние до края компонента больше, чем расстояние, на котором прикладывается сминающая нагрузка, напряжение смятия может быть увеличено в 1,5 раза.

[g] Когда опорные нагрузки прикладываются к деталям, имеющим свободные границы, такие как выступающий край, следует учитывать возможность разрушения при сдвиге.

Напряжения для болтов должны быть ограничены значениями, определяемыми в соответствии с таблицей D.2. Необходимо определить количество поперечных сечений болтов и площадь этих сечений, необходимых

для обеспечения сопротивления основным нагрузкам. В процессе анализа болтовых соединений необходимо учитывать нагрузку от эффекта рычага, вызванного поворотом контактирующих поверхностей.

Средним касательным напряжением является среднее напряжение в поперечном сечении, расположенном параллельно направлению действия нагрузки. Примером такого напряжения является среднее напряжение вдоль впадин витков резьбы при приложении осевой нагрузки к соединителю. Средние допустимые касательные напряжения в таблице D.2 определены для угла плеча 90°. Для определения предельных нагрузок при других значений угла могут быть использованы поля линий скольжения.

Среднее напряжение смятия — это напряжение, направленное по нормали к соприкасающимся поверхностям частей компонента. Для соединителя примерами напряжений смятия являются нормальные напряжения между резьбами в соединении, у предварительно нагруженных торцов или между шайбами, кулачками и т. п. и корпусом соединителя.

В качестве альтернативы возможно превышение допустимого напряжения смятия при условии, что допустимость этого превышения подтверждена с помощью испытаний или расчетов и имеющая место постоянная деформация не влияет на функциональные параметры компонента.

Для расчета эквивалентного напряжения по Мизесу три составляющих основных линеаризованных напряжений суммируют по формуле

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}, \tag{D.4}$$

где σ_{eq} — эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа;

σ_1, σ_2, σ_3 — основные напряжения, МПа, в направлениях 1, 2 и 3 соответственно.

В случае, когда направления основных напряжений одинаковы для условий a и b, размахи основных напряжений определяют в соответствии с выражениями:

$$(\Delta\sigma)_1 = (\Delta\sigma_1)_a - (\Delta\sigma_1)_b; \tag{D.5}$$

$$(\Delta\sigma)_2 = (\Delta\sigma_2)_a - (\Delta\sigma_2)_b; \tag{D.6}$$

$$(\Delta\sigma)_3 = (\Delta\sigma_3)_a - (\Delta\sigma_3)_b; \tag{D.7}$$

где $(\Delta\sigma)_1$, $(\Delta\sigma)_2$, $(\Delta\sigma)_3$ — размах основных напряжений, МПа, в направлениях 1, 2 и 3 соответственно.

Размах эквивалентного напряжения между условиями нагружения a и b определяют в соответствии с выражением

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{[(\Delta\sigma)_1 - (\Delta\sigma)_2]^2 + [(\Delta\sigma)_1 - (\Delta\sigma)_3]^2 + [(\Delta\sigma)_2 - (\Delta\sigma)_3]^2}. \tag{D.8}$$

Линеаризация предусматривает поиск для каждой составляющей напряжения по толщине секции линейного распределения, при котором эквивалентные нагрузка и момент имеют такие же значения, что и фактические.

Компоненты мембранного напряжения являются постоянными по толщине стенки w вдоль участка линии контакта, как показано в выражении

$$\sigma_m = \frac{1}{t} \cdot \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma \cdot (r_s) dr_s, \tag{D.9}$$

где σ_m — мембранное напряжение, МПа;

σ — напряжение, МПа;

t — толщина стенки, м;

r_s — радиус сечения, м.

Компоненты изгибающего напряжения на обоих концах участка контакта линии определяют по формуле

$$\sigma_b = \pm \frac{6}{t^2} \cdot \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma(r_s) \cdot (r_s) dr_s, \tag{D.10}$$

где σ_b — изгибающее напряжение, МПа;

остальные переменные соответствуют выражению (D.9).

Для линейных напряжений в сечении (толщине), например в трубе, подверженной простому изгибу, мембранные и изгибающие составляющие рассчитывают по формулам:

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{int} + \sigma_o)}{2}; \quad (D.11)$$

$$\sigma_b = \pm \frac{(\sigma_{int} + \sigma_o)}{2}, \quad (D.12)$$

где σ_{int} — напряжение на внутренней стороне стенки, МПа;

σ_o — напряжение на наружной стороне стенки, МПа.

Не рекомендуется проводить линеаризацию касательных напряжений. Вместо этого для расчета эффективных напряжений по Мизесу достаточно определить среднее значение напряжения в сечении. Также для проверки суммы мембранных и изгибающих напряжений на внешнем или внутреннем диаметре компонента, находящегося под действием внутреннего или внешнего давления, необходимо использовать фактические значения давления для определения радиальной составляющей напряжения.

В случаях, когда значительная внешняя нагрузка обусловлена кручением, среднее касательное напряжение $\tau_{r\theta}$, Па, в рассматриваемом поперечном сечении может быть аппроксимировано выражением

$$\tau_{r\theta} = \frac{M_T \cdot r_m}{J}, \quad (D.13)$$

где M_T — приложенный крутящий момент, Н·м;

r_m — средний радиус сечения, м;

J — полярный момент инерции сечения, м^4.

Примечание — В *[8]* (приложение С) приведено описание этого метода.

D.2.4 Упругопластический анализ методом конечных элементов

Упругопластический анализ методом конечных элементов можно использовать для определения максимальной допустимой нагрузки или пластического нагружения и функциональных ограничений. Допустимую нагрузку на компонент устанавливают посредством применения коэффициента использования для предела прочности материала (см. D.1.3). Анализ упругопластических напряжений обеспечивает более точную оценку для защиты компонента от повышенных пластических деформаций по сравнению с методом расчета упругих деформаций (см. D.2.3), так как более точно аппроксимирует фактические прочностные свойства.

Должна быть разработана конечно-элементная модель компонента, учитывающая его существенные геометрические характеристики. Сетка, используемая для анализа методом конечных элементов, должна обеспечивать достаточно точное моделирование геометрии компонента, граничных условий и прикладываемых нагрузок. Дополнительно, должно быть обеспечено увеличение пространственного разрешения расчетной сетки модели в зонах возникновения и концентрации напряжений. Для достижения необходимой точности описания напряжения и деформаций в компоненте может потребоваться проведение анализа нескольких конечно-элементных моделей. Шпильки и болты можно моделировать в виде балочных элементов или твердотельных элементов в зоне впадин, не учитывая локальные концентрации напряжений в витках резьбы.

Целостность уплотнения в отношении обеспечения герметичности должна быть оценена по распределению контактных напряжений между уплотняемыми поверхностями. Характеристики распределения напряжений в зоне контакта уплотнения, такие как длина, ширина и общая форма, в наибольшей мере влияют на определение свойств уплотнения.

Примечание — Анализ предельных состояний основан на модели идеального упругопластического материала и теории малых упругопластических деформаций. Анализ пластического разрушения базируется на фактическом деформационном упрочнении материала и теории пластичности при больших деформациях.

Анализ методом конечных элементов должен быть проведен на основе условия текучести Мизеса и ассоциированного закона пластического течения. Возможно допущение о наличии изотропного деформационного упрочнения. Предел текучести, как правило, определяют как напряжение, приводящее к 0,5 % общей деформации (см. 6.4.6). Это соответствует остаточной пластической деформации 0,2 %. Используемые кривые истинных деформаций «напряжение — деформация» должны отражать этот эффект. Предел сопротивления компонента может быть определен посредством пропорционального увеличения всех нагрузок, включенных в расчетный вариант нагрузки, до тех пор, пока компонент не сможет больше выдерживать нагрузку и/или будет иметь место значительная пластическая деформация, которая приведет к ухудшению функциональных характеристик компонента или ускорит его разъединение. Максимальная допустимая нагрузка или значение пластического нагружения должны быть определены как минимальное из следующих значений:

a) общий критерий, представляющий собой нагрузку, которая приводит к общей структурной неустойчивости, т. е. максимальную нагрузку. Для оценки следует использовать предельное значение общей деформации конструкции в соответствии с D.2.5;

b) критерий локальной неустойчивости, представляющий собой нагрузку, при которой эквивалентная остаточная пластическая деформация по Мизесу превышает критерий, приведенный в выражении (D.14), в любой точке компонента:

$$\varepsilon_{peq} \le \min\left[0{,}1;\ 0{,}5 \cdot \left(1 - \frac{\sigma_y}{\sigma_u}\right)\right], \qquad (D.14)$$

где ε_{peq} — эквивалентная пластическая деформация;

σ_y — расчетный предел текучести при максимальной расчетной температуре, МПа;

σ_u — расчетный предел прочности на растяжение при максимальной расчетной температуре, МПа;

c) критерий обеспечения требуемой функциональности, которому должны соответствовать все участки компонента при воздействии расчетных нагрузок, т. е. функциональные параметры должны быть обеспечены после воздействия как нормальных, так и экстремальных нагрузок. Если данное требование определено заказчиком, то функциональные параметры также должны обеспечиваться после воздействия особых нагрузок. В качестве критериев оценки требуемой функциональности при заданной нагрузке можно привести следующие примеры:

- нагрузка, приводящая к возникновению утечки флюида, т. е. нагрузка, при которой контактное давление становится меньше, чем давление удерживаемого флюида, умноженное на соответствующий коэффициент безопасности (см. приложение H);
- нагрузка, превышающая сопротивление трения и приводящая к разъединению резьбы/кулачков;
- нагрузка, приводящая к постоянной деформации со значением, при которой компонент теряет функциональные свойства, например в результате многократного свинчивания/развинчивания соединителя, повторной фиксации соединителей нижнего узла-превентора райзера З/РС, потери предварительного нагружения, что может вызывать утечку, усталостное повреждение или механическое истирание.

Пластическая деформация без ретчетинга (накопления деформации) имеет место в случае, когда действует только основное циклическое нагружение (контролируемая нагрузка), а суммарные амплитуды нагрузок в каждой точке цикла не превышают максимальной допустимой нагрузки или пластического нагружения. В этом случае не требуется проводить проверку на формирование накопленной пластической деформации. Ретчетинг следует учитывать в случае действия циклического дополнительного нагружения (контролируемое смещение) плюс основное нагружение (контролируемая нагрузка). При контроле ретчетинга не следует использовать изотропное деформационное упрочнение. Если контролируемая нагрузка и контролируемое смещение определяются как основные нагрузки, то при проектировании не требуется проводить проверку накопленной деформации.

Критерии, используемые для определения максимальной допустимой нагрузки или пластического нагружения, предполагают отсутствие дефектов, жесткое и упругое поведение материала и усиление сварного шва, если применимо (см. 7.2.14). Для оценки возможных дефектов следует использовать анализ механики разрушения (см. 7.2.10.3).

Следующие кривые являются типовым результатом анализа пластического разрушения: зависимость смещения (вращения) или эквивалентных пластических деформаций от приложенной нагрузки (момента) для всех основных конструктивных компонентов, зависимость расхождения торцов соединителя от приложенной нагрузки, зависимость выдавливания прокладки от нагрузки и зависимость контактного усилия на прокладках (линейная нагрузка) от приложенной нагрузки для низкого и проектного давления. Эти кривые должны быть оценены после определения максимальной допустимой нагрузки или пластического нагружения.

D.2.5 Испытание — пластическое нагружение (пластическое разрушение)

Для определения нагрузки пластического разрушения, как правило, достаточно проведения одного испытания. Испытание на пластическое разрушение необходимо проводить на полномасштабном образце, за исключением случаев, когда исполнитель может доказать обоснованность масштабирования. Общее руководство по проведению испытаний с нагружением приведено в приложении J.

Процедура испытания и интерпретация результатов должны учитывать возможность увеличения толщины материала элемента, например, за счет припуска металла на коррозию или наличия другого материала, который не может рассматриваться в качестве упрочнения детали.

Используемые тензометрические датчики должны иметь точность 0,005 % или выше. Тензодатчики и используемый для их крепления клей должны быть применимы для определения значений деформации как минимум на 50 % выше ожидаемых.

Должно быть выполнено обоснование мест размещения тензодатчиков для подтверждения того, что измерения будут выполнены в наиболее критических зонах. Тензодатчики или экстензометры должны быть размещены таким образом, чтобы измерять результат основного нагружения и не учитывать результат дополнительного нагружения или пиковые эффекты.

В процессе испытаний значение нагрузки откладывают по оси ординат, а по оси абсцисс откладывают значения изменений размера образца при использовании экстензометров или максимальные главные деформации поверхности при использовании тензодантчиков.

Значение нагрузки пластического разрушения (предела прочности) должно приниматься как значение нагрузки, приводящей к деформации, не превышающей 2 %, т. е. основная общая деформация не должна превышать 2 %. Предельное значение общей деформации должно быть основано на фактической деформации компонента, возникающей вследствие основных напряжений.

Шаг увеличения давления или нагрузки должен обеспечивать возможность построения графика зависимости деформации для последующего определения отношения деформации к нагрузке в упругом и упругопластическом диапазонах. Для оценки экспериментальных результатов должны быть выполнены расчеты.

Пластическое нагружение, используемое для проектирования, должно быть определено как пластическое нагружение, полученное в процессе испытания, умноженное на отношение заданного предела текучести материала при проектной температуре к измеренному при испытании пределу текучести материала при температуре испытания. Предельную нагрузку при нормальном режиме эксплуатации определяют по формуле

$$R_{nc} = \frac{2}{3} \cdot R_{c,test} \left\{ \frac{\sigma_y}{\sigma_{act}} \right\}, \tag{D.15}$$

где R_{nc} — предельная нагрузка при нормальном режиме эксплуатации, МПа;

$R_{c,test}$ — предел прочности (несущая способность), МПа;

σ_y — предел текучести для использования в расчетах при максимальной расчетной температуре, МПа (см. 6.4.6);

σ_{act} — фактическое среднее значение предела текучести для образцов (не менее трех образцов) при температуре испытания, МПа.

Фактическое среднее значение предела текучести σ_{act} не должно быть меньше проектного предела текучести σ_y. Прочность испытательных образцов должна соответствовать фактической прочности испытываемого компонента после изготовления. Если фактический предел текучести определяют только посредством испытания, указанного в технических условиях на материал, то допустимая проектная нагрузка должна составлять 0,80 от значения, определяемого по формуле (D.15).

Приложение Е
(справочное)

Пример расчета для проектирования труб под давлением

Е.1 Введение

В приложении Е представлен пример расчета трубы райзера под давлением в соответствии с требованиями настоящего стандарта. Пример расчета включает следующие основные шаги:

a) задание исходных данных для проектирования;

b) определение минимального внутреннего диаметра для прохождения шаблона;

c) определение требуемой толщины стенки исходя из несущей способности по внутреннему давлению (разрыв);

d) определение сопротивления максимальному внешнему давлению и проверка на кольцевую потерю устойчивости.

Общий анализ и проверку напряжений при сочетании нагрузок не проводят.

Е.2 Исходные данные для проектирования

Номинальное значение давления 69,0 МПа, класс температуры K (см. таблицу 8).

Е.3 Предварительное определение размера

Е.3.1 Введение

Целью данного шага является получение предварительных размеров труб райзера. В некоторых случаях можно выполнять оценку размеров отдельных компонентов райзера (усиленного соединения, натяжного соединения и гладкого соединения). Вычисление на данном шаге, как правило, выполняют вручную.

Для определения размеров труб необходимы следующие исходные данные:

- внутренний диаметр с допуском на овальность, допуск на толщину стенки трубы и припуск на коррозию;
- расчетная прочность материала и модуль Юнга;
- внутреннее и наружное проектное давление.

Теперь может быть определена толщина стенки, обеспечивающая:

a) сохранение целостности при максимальном эффективном внутреннем давлении (исключение разрыва), см. 6.5.2.2;

b) надлежащую прочность при эффективном внешнем давлении (исключение кольцевого коллапса), см. 6.5.2.3.

Предварительные размеры труб и компонентов райзера, полученные на этом этапе, следует определять достаточно точно, чтобы исключить необходимость существенных изменений на этапе рабочего проектирования/анализа. Для отдельных задач или групп задач могут потребоваться несколько итераций для определения размеров труб и конструкций компонентов.

Е.3.2 Минимальный внутренний диаметр

Минимальный внутренний диаметр трубы $D_{int,\min}$ необходимо определять с учетом следующих параметров (см. рисунок Е.1):

a) проходной диаметр D_{drift} (см. классы шаблонов в таблице 5), в данном примере принят равным 129,29 мм;

b) начальная овальность трубы (на концах и в средней части трубы) f_0, в данном примере принята равной 0,005;

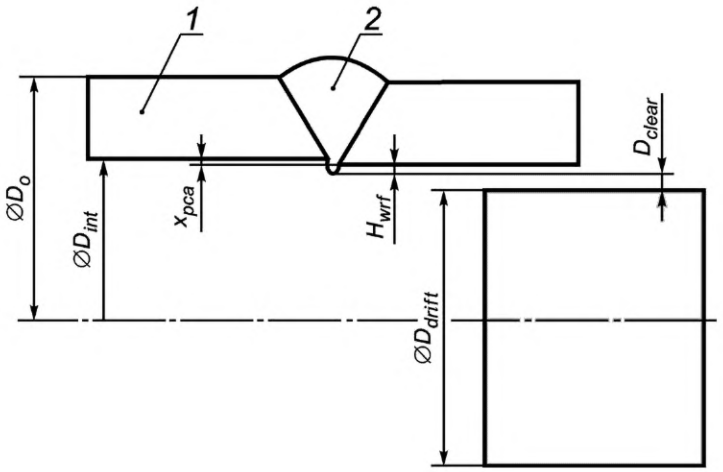
c) высота валика последнего слоя сварного шва от диаметра корня сварного шва D_{weld}, в данном примере принята равной 1,5 мм;

d) соосность труба/соединитель (допуск выравнивания) по диаметру D_{align}, в данном примере принята равной 1,5 мм;

e) минимальный зазор смещения по диаметру D_{clear}, в данном прмере принят равным 2,0 мм.

Минимальный внутренний диаметр трубы $D_{int,\min}$, мм, определяют по формуле

$$D_{int,\min} = (D_{drift} + D_{weld} + D_{align} + D_{clear}) \cdot (1 + f_0) = 135{,}0 \text{ мм}. \quad (Е.1)$$



1 — труба; *2* — сварной шов;
D_o — наружный диаметр трубы; D_{drift} — максимальный проходной диаметр; D_{int} — внутренний диаметр трубы; H_{wrf} — высота валика сварного шва; x_{pca} — допуск на несоосность трубы/соединителя; D_{clear} — минимальный зазор смещения по диаметру

Рисунок Е.1 — Минимальный внутренний диаметр

Е.3.3 Расчет минимальной толщины стенки трубы на разрыв под действием внутреннего давления

Отрицательный допуск на толщину стенки, как правило, выражают в виде процента от номинальной толщины для бесшовных труб, и как абсолютный показатель — для сварных труб.

Критерий на разрыв под действием внутреннего давления определяет минимальную требуемую толщину t_1.

На основе указанного выше критерия минимальная толщина стенки трубы без припусков и технологических допусков t_1, м, может быть рассчитана для трубы с заданным наружным диаметром по формуле

$$t_1 = \frac{D_o}{\frac{1{,}1 \cdot F_b \cdot (\sigma_y + \sigma_u)}{p_{int,d} - p_{o,\min}} + 1}, \tag{Е.2}$$

где D_o — условный или номинальный наружный диаметр, м;
F_b — коэффициент использования для расчета трубы на разрыв под действием внутреннего давления;
σ_y — предел текучести для использования в расчетах при максимальной расчетной температуре, Па;
σ_u — предел прочности на растяжение для использования в расчетах при максимальной расчетной температуре, Па;
$p_{int,d}$ — внутреннее расчетное давление, Па;
$p_{o,\min}$ — минимальное наружное гидростатическое давление, Па.

Или для трубы с заданным внутренним диаметром D_{int}, м (минимальный диаметр для прохождения шаблона) по формуле

$$t_1 = \frac{D_{int} \cdot \left(1 - \frac{t_{neg}}{100}\right) + 2 \cdot t_{ca}}{\frac{1{,}1 \cdot F_b \cdot (\sigma_y + \sigma_u)}{p_{int,d} - p_{o,\min}} \cdot \left(1 - \frac{t_{neg}}{100}\right) - \left(1 + \frac{t_{neg}}{100}\right)}, \tag{Е.3}$$

где

$$D_{int} = D_o - 2 \cdot t_n, \tag{Е.4}$$

t_{ca} — припуск на коррозию/износ/эрозию, м;
t_n — номинальная (заданная) толщина стенки трубы, м;
Δt_{neg} — процентное выражение отрицательного допуска на толщину стенки;
t_1 — минимальная толщина стенки трубы без припусков и технологических допусков, м.

Таким образом, минимальную номинальную или задаваемую толщину стенки трубы определяют по формуле

$$t_n \geq t_1 + t_{fab} + t_{ca}, \tag{Е.5}$$

где t_{fab} — абсолютное значение отрицательного допуска из технических условий/стандарта на материалы, м.

Примечание — Давление в процессе заводских приемочных и приемо-сдаточных испытаний не является определяющим для выбора толщины стенки.

Е.3.4 Расчет сопротивления кольцевой потери устойчивости (кольцевого коллапса)

Минимальное давление кольцевой потери устойчивости трубы $p_{c,min}$ для внешнего давления следует определять из выражения

$$(p_{c,min} - p_{el,min}) \cdot (p_{c,min}^2 - p_{p,min}^2) = p_{c,min} \cdot p_{el,min} \cdot p_{p,min} \cdot 2 \cdot f_0 \cdot \frac{D_o}{t_1}, \quad (E.6)$$

где $p_{el,min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса) поперечного сечения трубы при упругих напряжениях, Па;

$p_{p,min}$ — минимальное давление окружной потери устойчивости (кольцевого коллапса), при котором наступает пластическая деформация в поперечном сечении трубы, Па;

f_0 — начальная овальность трубы;

D_o — условный или номинальный наружный диаметр трубы, м;

t_1 — минимальная толщина стенки трубы без припусков и технологических допусков, м (см. 6.5.2.1).

Выражение (Е.6) может быть преобразовано в следующее уравнение:

$$\left(\frac{p_{c,min}}{p_{p,min}}\right)^3 - \left(\frac{p_{c,min}}{p_{p,min}}\right)^2 - \left(\frac{p_{c,min}}{p_{p,min}}\right) \cdot \left[1 + 2 \cdot \frac{f_o \cdot D_o}{t_1} \cdot \left(\frac{p_{el,min}}{p_{c,min}}\right)\right] + \frac{p_{el,min}}{p_{c,min}} = 0. \quad (E.7)$$

Решение уравнения (Е.7) приведено в выражениях:

$$p_{c,min} = y - \frac{1}{3} \cdot b, \quad (E.8)$$

$$b = -p_{el,min}, \quad (E.9)$$

$$c = -\left(p_{p,min}^2 + 2 \cdot p_{p,min} \cdot p_{el,min} \cdot f_0 \cdot \frac{D_o}{t_1}\right), \quad (E.10)$$

$$d = p_{el,min} \cdot p_{p,min}^2, \quad (E.11)$$

$$u = \frac{1}{3} \cdot \left(-\frac{1}{3} \cdot b^2 + c\right), \quad (E.12)$$

$$v = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2}{27} \cdot b^3 - \frac{1}{3} \cdot b \cdot c + d\right), \quad (E.13)$$

$$\phi = \arccos\left[\frac{-v}{\sqrt{(-u)^3}}\right], \quad (E.14)$$

$$y = -2 \cdot \sqrt{-u} \cdot \cos\left(\frac{\phi}{3} + \frac{\pi}{3}\right). \quad (E.15)$$

Приложение F
(справочное)

Руководство по поставке

Приложение F содержит основные параметры, определяемые при заказе и поставке райзеров, входящих в область действия настоящего стандарта. Значения параметров в технических спецификациях, не указанные заказчиком, должны быть определены изготовителем в процессе проектирования.

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Заказчик:	Ссылка на данные заказчика:
	Проект:
Телефон:	Расположение:
Факс:	
Данные технического специалиста заказчика для контактов:	Дата запроса:
Необходимость соответствия ГОСТ Р 71205—2024 ❑ Да ❑ Нет	Дата предоставления ответа:

ТИП СИСТЕМЫ			
ПОДВОДНАЯ ФОНТАННАЯ АРМАТУРА		**З/РС РАЙЗЕР**	
Вертикального типа	❑ Да ❑ Нет	Двухтрубный райзер	❑ Да ❑ Нет
Горизонтального типа	❑ Да ❑ Нет	Неинтегрированный двухканальный райзер	❑ Да ❑ Нет
Другая	Указать	Интегрированный двухканальный райзер	❑ Да ❑ Нет
ОРИЕНТАЦИЯ ТРУБНОЙ ГОЛОВКИ		Концентрический райзер	❑ Да ❑ Нет
Пассивная	❑ Да ❑ Нет	Райзер из бурильных труб	❑ Да ❑ Нет
Активная	❑ Да ❑ Нет	Райзер из обсадных труб	❑ Да ❑ Нет
МЕТОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В МОРЕ		Другой	Указать
С направляющими	❑ Да ❑ Нет		
Без направляющих	❑ Да ❑ Нет		

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ					
Компоненты для режима работы с трубной головкой		**Компоненты для режима работы с ПФА**		**Общие компоненты для двух режимов**	
Инструмент для спуска трубной головки	❑ Да ❑ Нет	Инструмент для спуска ПФА	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Инструмент для спуска колпака ПФА	❑ Да ❑ Нет	Усиленное соединение	❑ Да ❑ Нет		
Соединение для ориентации трубной головки	❑ Да ❑ Нет	Гибкое соединение	❑ Да ❑ Нет		
Испытательная секция в составе колонны для спуска	❑ Да ❑ Нет	ПВО К/ГТ	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Разъединитель секции для испытания скважин	❑ Да ❑ Нет	Модуль экстренного отсоединения	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Предохранительное соединение (слабое звено)	❑ Да ❑ Нет	Предохранительное соединение (слабое звено)	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Срезное соединение	❑ Да ❑ Нет				
Переключатель канала	❑ Да ❑ Нет	Переключатель канала	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Стопорный клапан	❑ Да ❑ Нет	Стопорный клапан	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Клапан лубрикатор	❑ Да ❑ Нет	Клапан лубрикатор	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Стандартные секции райзера	❑ Да ❑ Нет	Стандартные секции райзера	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Короткие патрубки	❑ Да ❑ Нет	Короткие патрубки	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
		Натяжное соединение	❑ Да ❑ Нет		
Гладкое соединение	❑ Да ❑ Нет	Гладкое соединение	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Вертлюг	❑ Да ❑ Нет	Вертлюг	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Палубная испытательная фонтанная арматура	❑ Да ❑ Нет	Палубная испытательная фонтанная арматура	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Адаптер для К/ГТ	❑ Да ❑ Нет	Адаптер для К/ГТ	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Промывочная головка для канатных работ	❑ Да ❑ Нет	Промывочная головка для канатных работ	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Натяжная рама палубной испытательной арматуры	❑ Да ❑ Нет	Натяжная рама палубной испытательной арматуры	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Спайдер для подвешивания	❑ Да ❑ Нет	Спайдер для подвешивания	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Инструмент для свинчивания секций райзера	❑ Да ❑ Нет	Инструмент для свинчивания секций райзера	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Заглушки для опрессовки секций райзера	❑ Да ❑ Нет	Заглушки для опрессовки секций райзера	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Вспомогательный инструмент для работы с райзером	❑ Да ❑ Нет	Вспомогательный инструмент для работы с райзером	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Крышка для глушения и циркуляции	❑ Да ❑ Нет	Крышка для глушения и циркуляции	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	
Хомуты шлангокабеля	❑ Да ❑ Нет	Хомуты шлангокабеля	❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет	

Гидравлическая силовая установка ❑ Да ❑ Нет	Гидравлическая силовая установка ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Главная панель управления ❑ Да ❑ Нет	Главная управляющая панель ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Панель дистанционного управления ❑ Да ❑ Нет	Панель дистанционного управления ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Панель активации аварийного останова ❑ Да ❑ Нет	Панель активации аварийного останова ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Панель технологического останова ❑ Да ❑ Нет	Панель технологического останова ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Модуль управления райзером ❑ Да ❑ Нет		
	Модуль управления ремонтными работами в скважине ❑ Да ❑ Нет	
Лубрикатор шлангокабеля ❑ Да ❑ Нет	Лубрикатор шлангокабеля ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Шлангокабель для режима работы с трубной головкой ❑ Да ❑ Нет		
Шлангокабель для режима работы с ПФА ❑ Да ❑ Нет	Шлангокабель для режима работы с ПФА ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет
Шкивы шлангокабеля ❑ Да ❑ Нет	Шкивы шлангокабеля ❑ Да ❑ Нет	❑ Да ❑ Нет

ОБЩИЕ ПРОЕКТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

СРОК СЛУЖБЫ			**ШАБЛОН**	
Проектный срок службы (общий)	годы		Класс шаблона основного ствола (см. таблицу 5)	
Эксплуатационный ресурс	годы		Класс шаблона затрубного пространства (см. таблицу 5)	
ПРИПУСК НА КОРРОЗИЮ				
Припуск на внутреннюю коррозию (см. 6.4.4)	мм			
Припуск на внешнюю коррозию (см. 6.4.4)	мм			

КЛАССЫ РАСЧЕТНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Значение внутреннего давления	Внутреннее давление	Температура флюида	Плотность флюида	Уровень определения давления
	МПа	° С	кг/м^3	
Проектное давление				❑ Устье ❑ Верх райзера
Предельное давление				❑ Устье ❑ Верх райзера
Пробное давление для испытания системы				❑ Устье ❑ Верх райзера
Давление заводских приемо-сдаточных испытаний				NA

Минимальная температура (расчетная)	°С		Максимальная температура (расчетная)	°С	

КРИТЕРИИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Указать любой критерий герметичности, являющийся более жестким, чем указанные в применяемых нормах или стандартах (см. таблицу 2).

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ РАБОТАМИ В СКВАЖИНЕ — ПАРАМЕТРЫ ВНУТРЕННЕГО ФЛЮИДА					
ДАВЛЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА И ПЛОТНОСТЬ					
Значение внутреннего давления	Внутреннее давление	Температура флюида	Плотность флюида	Описание флюида (нефть, газ, вода)	Уровень определения давления
	МПа	°С	кг/м^3		
Проектное давление					❑ Устье ❑ Верх райзера
Минимальное давление					❑ Устье ❑ Верх райзера
Пробное давление для испытания системы					❑ Устье ❑ Верх райзера
Давление заводских приемо-сдаточных испытаний					Неприменимо
СОСТАВ ФЛЮИДА					
Содержание флюида (указать)			Наличие коррозионно-активных составляющих? ❑ Да ❑ Нет		
Присутствие спиртов? ❑ Да ❑ Нет			Использование ингибиторов (против отложения солей, парафина и т. д.)? ❑ Да ❑ Нет		
Присутствие ароматических составляющих? ❑ Да ❑ Нет			Нагнетаемые химические реагенты? ❑ Да ❑ Нет		
Приложить более детальную информацию, если она есть в наличии.					

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ					
Режим эксплуатации	**РЕЖИМ РАБОТЫ С ПФА**			**РЕЖИМ РАБОТЫ С ТРУБНОЙ ГОЛОВКОЙ**	
	Высота значительных волн, м	Период пика спектра, с	Значения установившегося смещения судна, м	Угол отклонения нижнего гибкого соединения, град	Угол отклонения верхнего гибкого соединения, град
Спуск					
Посадка и соединение					
Натяжение для подтверждения фиксации					
Испытание системы давлением					
Нормальная эксплуатация					
Закрытие скважины арматурой на поверхности					
Закрытие скважины под водой					
Нормальное отсоединение					
Быстрое отсоединение					
Вывешивание					
Избыточное натяжение для освобождения прихваченной трубной головки/НКТ	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо		
Отказ в системе натяжения. Отказ одного устройства натяжения				Неприменимо	Неприменимо

Отказ в системе натяжения. Заклинивание компенсатора качки						
Отказ якорной системы						
Отказ системы динамического позиционирования						
Максимальная вертикальная качка при посадке оборудования	м					
Максимальная скорость посадки оборудования	м/с					

ТРЕБОВАНИЯ К СРЕЗАНИЮ			
ПВО К/ГТ?	❑ Да ❑ Нет	Клапан лубрикатор, режим работы с трубной головкой?	❑ Да ❑ Нет
Палубная испытательная фонтанная арматура?	❑ Да ❑ Нет	Клапан лубрикатор, режим работы с ПФА?	❑ Да ❑ Нет
ПФА?	❑ Да ❑ Нет	Срезное соединение для одной гибкой трубы?	❑ Да ❑ Нет
Стопорный клапан, режим работы с трубной головкой?	❑ Да ❑ Нет	Срезное соединение для нескольких гибких труб?	❑ Да ❑ Нет
Стопорный клапан, режим работы с ПФА?	❑ Да ❑ Нет		
При подтверждении указать требования.			
МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТНЫМИ РАБОТАМИ В СКВАЖИНЕ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ОСТАНОВОВ			
Технологический останов?	❑ Да ❑ Нет	Аварийный останов?	❑ Да ❑ Нет
Аварийное отсоединение?	❑ Да ❑ Нет		

ПАРАМЕТРЫ ФЛЮИДА ВНУТРИ РАЙЗЕРА З/РС					
ДАВЛЕНИЕ, ТЕМПЕРАТУРА И ПЛОТНОСТЬ					
Значение внутреннего давления	Внутреннее давление	Температура флюида	Плотность флюида	Описание флюида (нефть, газ, вода)	Уровень определения давления
	МПа	°С	кг/м^3		
Давление скважины, закрытой арматурой на поверхности					Верх райзера
Давление скважины закрытой арматурой на устье					Устье скважины
Минимальное давление					❑ Устье ❑ Верх райзера
Максимальное давление при пробковом режиме потока					❑ Устье ❑ Верх райзера
Максимальное давление при глушении скважины					❑ Устье ❑ Верх райзера
Максимальное давление при проведении гидроразрыва					❑ Устье ❑ Верх райзера
Максимальное давление при интенсификации притока					❑ Устье ❑ Верх райзера
Максимальное давление нагнетания					❑ Устье ❑ Верх райзера

Максимальное давление при возникновении утечки из других источников (например, линии управления SCSSV)					❑ Устье ❑ Верх райзера
Приложить подробную информацию о внутреннем давлении при эксплуатации без водоотделяющей колонны и внутри бурового райзера.					

ДАННЫЕ ПО СОСТАВУ ФЛЮИДА ВНУТРИ РАЙЗЕРА З/РС			**УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ**		
Содержание NaCl	массовый % воды		Описание	❑ H_2S ❑ CO_2	
Содержание хлоридов	× 10^{-6}		Применимость требований *ГОСТ Р 53679 и ГОСТ 53678*?	❑ Да ❑ Нет	
Газовый фактор	$м^3/м^3$		Применение требований *ГОСТ Р 51365*? (указать класс)	❑ Да ❑ Нет	
Наличие спиртов?	❑ Да ❑ Нет		Парциальное давление H_2S	МПа	
Наличие ароматических компонентов?	❑ Да ❑ Нет		Парциальное давление CO_2	МПа	
Коррозионно-активные вещества?	❑ Да ❑ Нет		Hg	$г/м^3$	
Ингибиторы (против отложения солей, парафина и т. д.)?	❑ Да ❑ Нет		Вынос песка	г/с	
Нагнетаемые химические реагенты?	❑ Да ❑ Нет		Размер частиц песка	мкм	
Флюид для заканчивания?	❑ Да ❑ Нет		pH водной фазы		
ПРИМЕЧАНИЕ — При наличии приложить детальные данные о составах флюида. Также приложить данные об ароматических компонентах, коррозионно-активных веществах, ингибиторах, спиртах, твердых частицах или нагнетаемых химических реагентах в составе флюида.					

ПАРАМЕТРЫ ФЛЮИДА ВНУТРИ БУРОВОГО РАЙЗЕРА И ППВО					
ЗНАЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ					
Максимальное давление испытания нижних плашек ППВО	МПа		Максимальное давление испытания затрубного пространства в призабойной зоне	МПа	
Максимальное давление испытания ППВО ниже кольцевого превентора	МПа		Максимальное скважинное давление посадки пакера	МПа	
Максимальное давление испытания трубной головки	МПа				

ДАННЫЕ ПО СОСТАВУ ФЛЮИДА			
Тип флюида		Максимальная плотность	Минимальная плотность
		$кг/м^3$	$кг/м^3$
Флюид для заканчивания?	❑ Да ❑ Нет		
Буровой раствор?	❑ Да ❑ Нет		
Морская вода?	❑ Да ❑ Нет		
Рассол?	❑ Да ❑ Нет		
Дизельное топливо?	❑ Да ❑ Нет		
Другой (указать)?	❑ Да ❑ Нет		

<table>
<tr><th colspan="6">ВНЕШНЯЯ СРЕДА</th></tr>
<tr><th colspan="3">ГЛУБИНА ВОДЫ</th><th colspan="3">ПАРАМТЕРЫ ГРУНТОВ</th></tr>
<tr><td>Средний уровень воды</td><td>м</td><td></td><td>Параметры грунтов (глина, песок)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Минимальный уровень моря с учетом прилива</td><td rowspan="2">м</td><td rowspan="2"></td><td>Сопротивление недренированному сдвигу</td><td>кПа</td><td></td></tr>
<tr><td>Эффективный удельный вес</td><td>кН/м^3</td><td></td></tr>
<tr><td>Максимальный уровень моря с учетом прилива</td><td>м</td><td></td><td>Угол внутреннего трения</td><td>°</td><td></td></tr>
<tr><td>Максимальный штормовой нагон</td><td>м</td><td></td><td colspan="3" rowspan="2">Должно ли рассматривать взаимодействие грунт/конструкции скважины? ❑ Да ❑ Нет</td></tr>
<tr><th colspan="3">ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА</th></tr>
<tr><td>Минимальная температура</td><td>°C</td><td></td><td colspan="3">Если да, детализировать.</td></tr>
<tr><td>Максимальная температура</td><td>°C</td><td></td><td colspan="3">БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАСТАНИЕ</td></tr>
<tr><td>Минимальная температура при хранении/транспортировании</td><td>°C</td><td></td><td colspan="3" rowspan="2">Нужно ли учитывать биологическое обрастание? ❑ Да ❑ Нет

Если да, то привести данные о толщине обрастания и его параметрах по длине райзера</td></tr>
<tr><td>Максимальная температура при хранении/транспортировании</td><td>°C</td><td></td></tr>
<tr><th colspan="3">ПАРАМЕТРЫ МОРСКОЙ ВОДЫ</th><th colspan="3">ЛЕДОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ</th></tr>
<tr><td>Плотность</td><td>кг/м^3</td><td></td><td colspan="3" rowspan="2">Нужно ли учитывать влияние льда? ❑ Да ❑ Нет

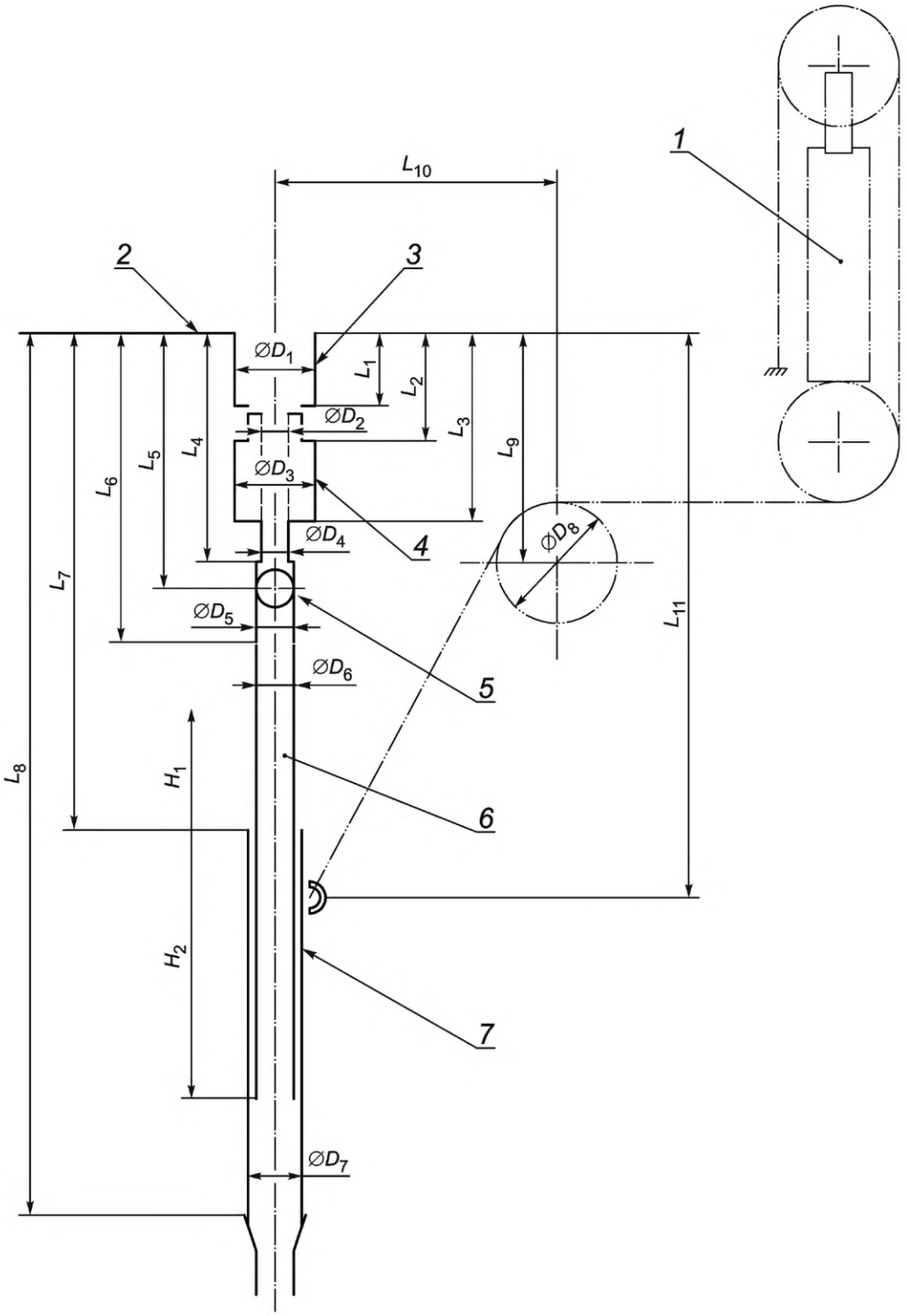
Если да, то привести данные о максимальном обледенении, дрейфе айсбергов и ледяных полей</td></tr>
<tr><td>Значение pH</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Минимальная температура на поверхности</td><td>°C</td><td></td><td colspan="3" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>Максимальная температура на поверхности</td><td>°C</td><td></td></tr>
<tr><td>Минимальная температура у морского дна</td><td>°C</td><td></td><td colspan="3">ВОЛНЕНИЕ</td></tr>
<tr><td>Максимальная температура у морского дна</td><td>°C</td><td></td><td>Высота характерной волны или максимальная высота волны</td><td>м</td><td></td></tr>
<tr><th colspan="3">ДАННЫЕ О ТЕЧЕНИЯХ</th><td>Период пика спектра или диапазон периодов волны</td><td>с</td><td></td></tr>
<tr><td>Профиль скорости течения</td><td>м/с</td><td></td><td colspan="3">Частотно-направленный спектр волн</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Данные о течениях следует представлять как функцию глубины воды, направления и повторяемости, включая информацию о локальных явлениях. Следует также представить сопутствующие ожидаемые профили для анализа эксплуатационных ограничений и анализа на усталость</td><td colspan="3">Функция распределения</td></tr>
<tr><td colspan="3">Диаграмма повторяемости волн (H_S, T_p)</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3">Параметры волн следует представлять как функцию направления и повторяемости</td></tr>
</table>

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СУДНА					
ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА			**БУРОВАЯ ВЫШКА И ПОЛ БУРОВОЙ ВЫШКИ**		
Тип судна (полупогружная платформа/буровое судно/др.)			Максимальная высота подъема (элеватор буровой вышки)	м	
Максимальная рабочая глубина воды	м		Высота пола буровой над основной линией судна	м	
Длина	м		Наличие поворотной опоры талевого блока/верхнего привода? ❑ Да ❑ Нет		
Ширина	м				
Водоизмещение	кН		Наличие промежуточной опоры талевого блока/верхнего привода? ❑ Да ❑ Нет		
Рабочая осадка	м				
Осадка в режиме выживания	м		Поворотная опора палубной испытательной фонтанной арматуры? ❑ Да ❑ Нет		
Размеры буровой шахты	м		Промежуточная опора палубной испытательной фонтанной арматуры? ❑ Да ❑ Нет		
ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧКИ			Поворотная опора гладкого соединения райзера З/РС? ❑ Да ❑ Нет		
Оценка качки судна с частотой волны с применением RAO (операторов амплитудной характеристики) и угла сдвига фаз для продольной, поперечной, вертикальной, бортовой и килевой качки и рыскания как функции частоты волны? q Даq Нет			Промежуточная опора гладкого соединения райзера З/РС? ❑ Да ❑ Нет		
			Если да, детализировать.		
При подтверждении привести детализацию для RAO и угла сдвига фаз как функции частоты волны.			**УСТРОЙСТВА НАТЯЖЕНИЯ**		
			Количество независимых устройств натяжения		
Вертикальное положение RAO в системе координат судна относительно основной линии судна	м		Грузоподъемность каждого устройства натяжения	Н	
Положение RAO в системе координат судна относительно кормового перпендикуляра	м		Динамические характеристики? ❑ Да ❑ Нет		
Положение роторного стола относительно кормового перпендикуляра	м		Длина хода	м	
			Шкивы, положение и высота? ❑ Да ❑ Нет		
Привести определение системы координат судна для RAO			Размеры тросовых петель устройства натяжения? ❑ Да ❑ Нет		
Определить курс судна по отношению к встречной волне (например, 0° или 180°)			Если да, детализировать.		
Определить единицы измерения RAO и угла сдвига фаз			**КОМПЕНСАТОР КАЧКИ БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ**		
Перемещения судна второго порядка ❑ Да ❑ Нет			Производительность пассивного компенсатора качки	Н	
Если да, детализировать.			Производительность активного компенсатора качки	Н	

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ			Динамические характеристики? ❑ Да ❑ Нет		
Якорная система? ❑ Да ❑ Нет			Длина хода	м	
Если да, то привести значение установившегося смещения при отказе одной якорной линии или якоря	м		Если да, то привести детализацию требований.		
			КОРПУС СУДНА		
Динамическое позиционирование? ❑ Да ❑ Нет			Размеры буровой шахты? ❑ Да ❑ Нет		
Точность позиционирования	± м		Расстояние между понтонами? ❑ Да ❑ Нет		
Снос судна при отказе системы энергоснабжения? ❑ Да ❑ Нет			Расстояние между креплением понтонов? ❑ Да ❑ Нет		
Исходные параметры сноса? ❑ Да ❑ Нет			Допустимая высота нижнего узла-превентора райзера для ремонтных работ в скважине и сборки ПФА при перемещении в буровую шахту? ❑ Да ❑ Нет		
Условия устойчивого сноса? ❑ Да ❑ Нет					
Увод судна? ❑ Да ❑ Нет			Если да, привести детализацию требований, включая чертежи.		
Параметры увода судна? ❑ Да ❑ Нет			Представленные параметры судна должны включать план расположения, отражающий курс судна, Северный полюс, ориентацию райзера и буровой вышки, включая опору райзера.		
Если да, то привести детализацию требований.					

ТРЕБОВАНИЯ К СОПРЯЖЕНИЯМ					
ПОДВЕСНЫЕ УСТРОЙСТВА			**ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОДВЕШИВАНИЯ И СВИНЧИВАНИЯ**		
Длинные штропы? ❑ Да ❑ Нет			Подвесной спайдер, поставляемый заказчиком ❑ Да ❑ Нет		
Грузоподъемность	кН		Инструмент для свинчивания, поставляемый заказчиком ❑ Да ❑ Нет		
Длина	м		Детализация сопряжений роторного стола ❑ Да ❑ Нет		
Диаметр	мм		Если да, представить детальную информацию.		
Если натяжная рама палубной испытательной фонтанной арматуры поставляется заказчиком, то следует представить ее технические данные, включая размеры, спецификации на материалы и функциональные характеристики.					
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КАНАТНЫХ РАБОТ			**БУРОВОЙ РАЙЗЕР**		
Тросовый шлюз? ❑ Да ❑ Нет			Размеры и высота установки дивертора? ❑ Да ❑ Нет		
ПВО К/ГТ? ❑ Да ❑ Нет			Размеры и высота установки верхнего гибкого/шарового соединения? ❑ Да ❑ Нет		
Если канатное оборудование поставляется заказчиком, то следует представить технические данные оборудования, включая размеры, вес и детализацию сопряжений ППВО.			Размеры, высота установки и ход телескопической секции (скользящего соединения)? ❑ Да ❑ Нет		
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГИБКИХ ТРУБ			Стандартные секции райзера		
Устройство подачи? ❑ Да ❑ Нет			Длина	м	
Эжектор? ❑ Да ❑ Нет			Внутренний диаметр	мм	

ПВО для гибких труб? ❑ Да ❑ Нет			Наружный диаметр	мм	
Если оборудование для гибких труб поставляется заказчиком, то следует представить технические данные оборудования, включая размеры, вес и детализацию сопряжений ППВО.			Вес на воздухе	кН	
			Вес в погруженном состоянии, включая содержимое	кН	
АРМАТУРА РАЙЗЕРА (БАРЬЕРЫ), ПОСТАВЛЯЕМАЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ			Размеры и расположение дроссельных линий и линий глушения? ❑ Да ❑ Нет		
Палубная испытательная фонтанная арматура? ❑ Да ❑ Нет			Модули плавучести райзера		
Модуль экстренного отсоединения? ❑ Да ❑ Нет			Длина	м	
ПВО К/ГТ? ❑ Да ❑ Нет			Внутренний диаметр	мм	
ПФА? ❑ Да ❑ Нет			Наружный диаметр	мм	
Инструмент для спуска ПФА? ❑ Да ❑ Нет			Вес в погруженном состоянии, включая содержимое	кН	
Колонна для спуска? ❑ Да ❑ Нет			Вес в погруженном состоянии, включая содержимое	кН	
Если какие-либо барьеры поставляются заказчиком, то следует представить детальную информацию, включая размеры, высоту установки относительно устья скважины, спецификацию на использованные материалы, вес, детализацию сопряжений, функциональные характеристики компонентов и коэффициенты концентрации напряжений, гидравлическую схему, режимы эксплуатации, угол отсоединения и др.			Высотные отметки в собранной секции райзера? ❑ Да ❑ Нет		
			Размеры нижнего гибкого/шарового соединения и высотная отметка по оси? ❑ Да ❑ Нет		
			Размеры НБР и высота установки относительно устья скважины? ❑ Да ❑ Нет		
УСТЬЕ, НКТ И ОБСАДНЫЕ ТРУБЫ			Размеры ППВО и высота установки относительно устья скважины? ❑ Да ❑ Нет		
Базовый уровень устья скважины над морским дном	м		Размер трубных плашек ППВО? ❑ Да ❑ Нет		
Угол наклона устья скважины	°		Тип срезающих плашек ППВО и срезающее усилие? ❑ Да ❑ Нет		
Размер НКТ, вес и фактическая глубина по вертикали? ❑ Да ❑ Нет			Если да, то представить детальную информацию. Размеры верхней части см. рисунок F.1 и таблицу F.1 Размеры нижней части см. рисунок F.2 и таблицу F.2.		
Схема обсадных колонн? ❑ Да ❑ Нет			Сухой вес ППВО	кН	
Если да, то представить детальную информацию.			Вес ППВО в погруженном состоянии (пустого)	кН	
ДОПУСТИМЫЙ ВЕС ОБОРУДОВАНИЯ			Сухой вес НБР	кН	
Ограничение по максимальному весу блока (т. е. нижнего узела-превентора райзера, корзин, гидравлической силовой установки и т. д.)? ❑ Да ❑ Нет			Вес НБР в погруженном состоянии (пустого)	кН	
Если да, то указать.			Избыточное натяжение соединителя НБР	кН	
Ограничение по морской отгрузке	кН				
Ограничение по погрузочным работам на палубе	кН				

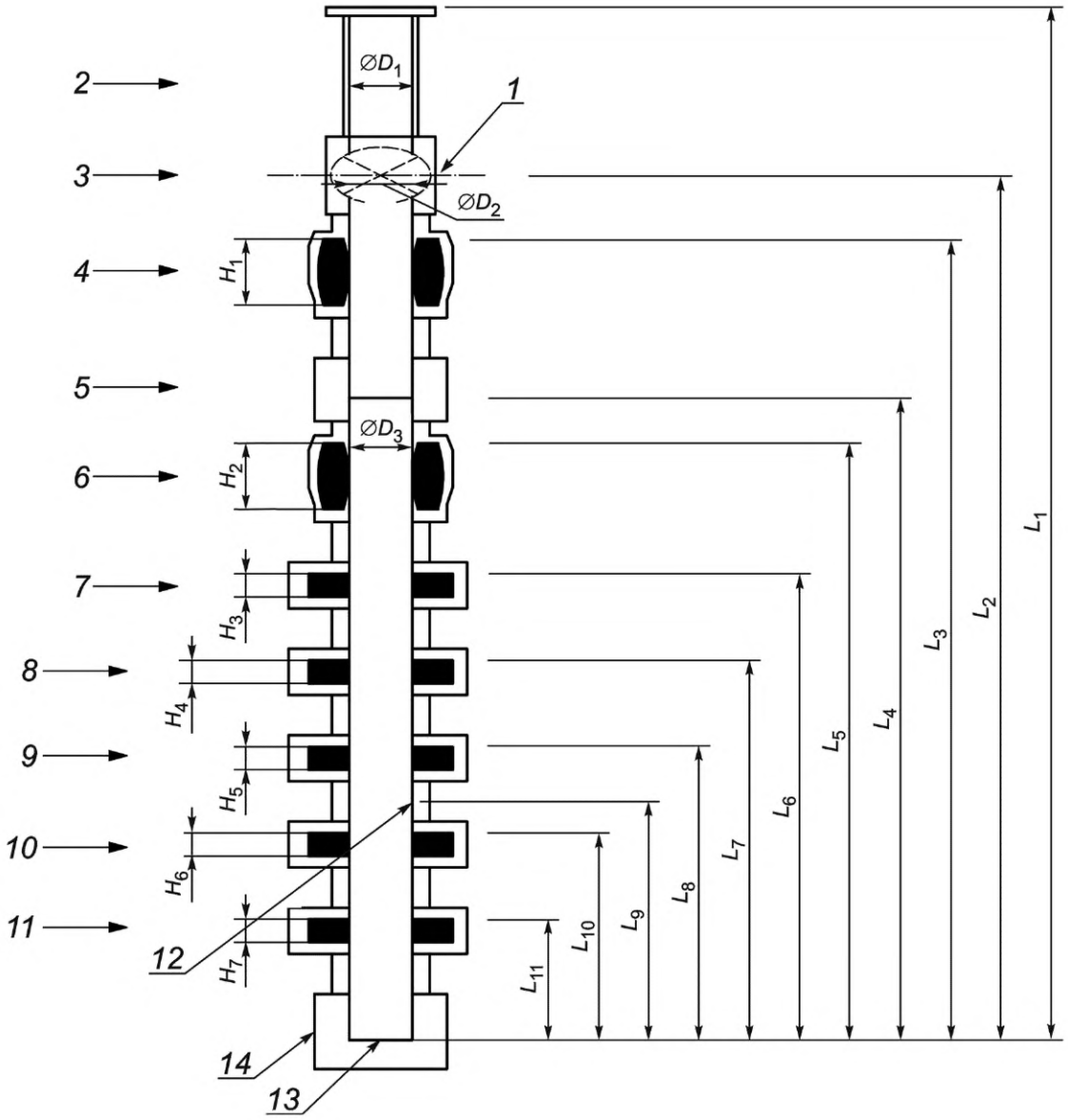


1 — компенсатор качки; *2* — пол буровой вышки; *3* — роторный стол; *4* — дивертер;
5 — гибкое/шаровое соединение; *6* — внутренняя труба телескопической секции (секции скольжения);
7 — наружная труба телескопической секции (секции скольжения).
Форма для размеров — см. таблицу F.1.

Рисунок F.1 — Размеры верхней части бурового райзера

Таблица F.1 — Форма для размеров верхней части бурового райзера

Переменная	Размер, мм	Комментарии
L_1		Высотная отметка низа бурового стола относительно пола буровой установки
L_2		Высотная отметка верха корпуса дивертора относительно пола буровой установки (с удаленной вставкой)
L_3		Высотная отметка низа корпуса дивертора относительно пола буровой установки
L_4		Высотная отметка гибкого/шарового соединения, верхнего переходника относительно пола буровой
L_5		Высотная отметка оси поворота гибкого/шарового соединения относительно пола буровой
L_6		Высотная отметка гибкого/шарового соединения, нижнего переходника, относительно пола буровой
L_7		Высотная отметка среднего положения телескопической секции относительно пола буровой при эксплуатационной осадке
L_8		Высотная отметка низа наружной трубы телескопической секции относительно пола буровой при эксплуатационной осадке
L_9		Высотная отметка центра шкива натяжного троса относительно пола буровой
L_{10}		Расстояние от оси роторного стола до центра шкива натяжного троса
L_{11}		Высотная отметка соединительной скобы натяжного троса на натяжном кольце относительно пола буровой при эксплуатационной осадке
H_1		Ход вниз телескопической секции (т. е. ход вниз от среднего положения при эксплуатационной осадке)
H_2		Ход вверх телескопической секции (т. е. ход вверх от среднего положения при эксплуатационной осадке)
D_1		Максимальный внутренний диаметр роторного стола с удаленным вкладышем
D_2		Внутренний диаметр дивертера с установленной вставкой
D_3		Внутренний диаметр корпуса дивертера с удаленной вставкой
D_4		Верхний переводник гибкого/шарового соединения, внутренний диаметр
D_5		Гибкое/шаровое соединение и нижний переводник, внутренний диаметр
D_6		Внутренняя труба телескопической секции, внутренний диаметр
D_7		Наружная труба телескопической секции, внутренний диаметр
D_8		Диаметр шкива натяжного троса
От базового уровня устья до пола буровой		Высотная отметка базового уровня устья скважины относительно пола буровой при эксплуатационной осадке
От среднего уровня воды до бурового пола		Высотная отметка среднего уровня воды относительно пола буровой при эксплуатационной осадке



1 — ось вращения гибкого соединения; *2* — переходник райзера; *3* — гибкое соединение; *4* — верхний кольцевой превентор; *5* — соединитель НБР; *6* — нижний кольцевой превентор; *7* — верхние срезающие плашки; *8* — нижние срезающие плашки; *9* — верхние трубные плашки; *10* — средние трубные плашки; *11* — нижние трубные плашки; *12* — проход для ориентирующего штифта трубной головки; *13* — базовый уровень, верх устья скважины; *14* — соединитель устья скважины

Расшифровка обозначений приведена в таблице F.2.

Рисунок F.2 — Присоединительные размеры ППВО

Таблица F.2 — Присоединительные размеры ВОР

Размер	Размер, мм	Комментарии
L_1		Высотная отметка верха переходника райзера
L_2		Высотная отметка оси гибкого соединения
L_3		Высотная отметка верхнего кольцевого превентора
L_4		Высотная отметка торца соединителя НБР
L_5		Высотная отметка нижнего кольцевого превентора

Окончание таблицы F.2

Размер	Размер, мм	Комментарии
L_6		Высотная отметка верхних срезающих плашек
L_7		Высотная отметка нижних срезающих плашек
L_8		Высотная отметка верхних трубных плашек
L_9		Высотная отметка ориентирующего штифта трубной головки
L_{10}		Высотная отметка средних трубных плашек
L_{11}		Высотная отметка нижних трубных плашек
H_1		Высота верхнего кольцевого превентора
H_2		Высота нижнего кольцевого превентора
H_3		Высота верхних срезающих плашек
H_4		Высота нижних срезающих плашек
H_5		Высота верхних трубных плашек
H_6		Высота средних трубных плашек
H_7		Высота нижних трубных плашек
D_1		Номинальный внутренний диаметр переходника райзер
D_2		Номинальный внутренний диаметр гибкого соединения
D_3		Номинальный внутренний диаметр ППВО
Соединитель НБР		Указать тип
Соединитель устья		Указать тип

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ	
Требования к материалам в дополнение к настоящему стандарту? Если да, то указать требования.	❑ Да ❑ Нет
Требования к изготовлению, в дополнение к требованиям настоящего стандарта? Если да, то указать требования.	❑ Да ❑ Нет
Заводские приемо-сдаточные испытания, проведение которых необходимо в дополнение к указанным в настоящем стандарте? Если да, то привести состав испытаний.	❑ Да ❑ Нет
Маркировка, требуемая в дополнение к настоящему стандарту? Если да, то привести детальные требования.	❑ Да ❑ Нет

Требуются ли испытания для подтверждения квалификации?	❑ Да ❑ Нет
Если да, то привести детальную информацию.	
Дополнительные требования законодательства?	❑ Да ❑ Нет
Если да, то привести детальную информацию.	
Требуется ли контроль со стороны заказчика?	❑ Да ❑ Нет
Если да, то привести детальную информацию.	
Общие требования в дополнение к требованиям настоящего стандарта?	❑ Да ❑ Нет
Если да, то привести детальную информацию.	

ТРЕБОВАНИЯ К ПОСТАВКЕ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ			
Требования к поставке:			
Требования по транспортированию, упаковке и хранению:			
ТРЕБУЕМАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ			
Исходные данные для проектирования?	❑ Да ❑ Нет	План обеспечения качества изготовления	❑ Да ❑ Нет
Отчеты по проектированию?	❑ Да ❑ Нет	Технические условия на производство	❑ Да ❑ Нет
Инструкция по эксплуатации?	❑ Да ❑ Нет	Исполнительная документация	❑ Да ❑ Нет
Сводная проектная и производственная документация?	❑ Да ❑ Нет	Документация по результатам квалификации	❑ Да ❑ Нет
Инструкция по техническому обслуживанию и замене?	❑ Да ❑ Нет	Другая (указать)	❑ Да ❑ Нет

Приложение G
(справочное)

Предварительное нагружение болтов

G.1 Методы предварительного нагружения болтов

G.1.1 Общие положения

При свинчивании болтового соединения должно быть обеспечено достижение требуемого значения предварительного натяжения. Используемые в процессе свинчивания инструменты должны быть откалиброваны в соответствии с требованиями признанного стандарта. Калибровку следует проводить для всей системы предварительного натяжения, включая инструмент и измерительные устройства. Предварительное натяжение болтового соединения должен выполнять квалифицированный персонал.

Предварительное натяжение болтового соединения может быть обеспечено несколькими методами: использование гидравлических устройств для предварительного растяжения (удлинения) болта, использование динамометрического ключа и затяжка с контролируемым углом поворота гайки. Ниже приведено краткое описание указанных методов. Определение фактического предварительного натяжения болтокомплекта является сложной задачей, поэтому все методы предварительного натяжения имеют определенную погрешность.

G.1.2 Вытягивание болта с помощью растягивающего устройства

При использовании данного метода предварительное натяжение болтового соединения достигается за счет приложения к болту осевой нагрузки и навинчивания перед снятием нагрузки гайки до упора без использования затягивающего инструмента. Как правило, гидравлические устройства, используемые для растягивания болтов, представляют собой модифицированные гидравлические домкраты. При возможности обеспечения ровного и жесткого упора для домкратов и их соответствующей калибровки гидравлические растягивающие устройства позволяют обеспечить высокую точность предварительного натяжения болтов.

При снятии с болта осевой нагрузки от растягивающего устройства усилие от остаточного удлинения болта приводит к возникновению нагрузки на гайку, возникающие при этом локальные деформации на опорных поверхностях резьбы приводят к потере части стягивающей нагрузки. Это уменьшение стягивающей нагрузки следует учитывать в процессе натяжения (см. G.2.2).

G.1.3 Динамометрические ключи и моментные инструменты

При повороте гайки с помощью ключа в болте создается предварительная нагрузка, зависящая от шага резьбы болта. Большая часть приложенного крутящего момента используется на преодоление трения в резьбе и на опорной поверхности гайки. Трение зависит от свойства материала поверхности и используемой смазки (см. G.3).

G.1.4 Метод контролируемого угла поворота гайки

Метод контролируемого угла поворота гайки включает в себя приложение начального крутящего момента заданной величины и последующее измерение угла поворота гайки. Такие процедуры должен пройти процесс квалификации посредством проведения испытания. Эти процедуры могут быть как весьма простыми, так и достаточно сложными. Прикладываемый начальный крутящий момент формирует начальную затяжку гайки. При наиболее простом применении последующий поворот гайки обеспечивает достижение болтом своего предела текучести. Поскольку в процессе процедуры выполняют контроль деформации, то отсутствует риск чрезмерной деформации болта при превышении предела текучести. Тем не менее, болты, предварительно нагруженные до предела текучести, не допускается использовать повторно.

При реализации более сложных процедур максимальное эквивалентное напряжение болта может не достигать предела текучести. В этом случае допускается повторное использование болтов.

G.2 Предварительное натяжение болта

G.2.1 Общие положения

Предварительное нагружение должно учитывать необходимое усилие для герметичной посадки прокладки в условиях внешнего воздействия в процессе свинчивания и наличии погрешности при формировании предварительной нагрузки. Максимальная предварительная нагрузка с учетом погрешности и внешних воздействий не должна приводить к повреждению соединителя, прокладок и болтов (если применимо).

Все методы предварительного нагружения имеют определенную степень погрешности (см. G.3), которую следует учитывать.

Минимальную и максимальную предварительные нагрузки болта (натяжение) при свинчивании определяют по формулам:

$$T_{b,\min} = T_{b,\text{nom}} \cdot (1 - \varepsilon); \tag{G.1}$$

$$T_{b,\max} = T_{b,\text{nom}} \cdot (1 + \varepsilon + \Delta_b), \tag{G.2}$$

где $T_{b,min}$ — минимальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании, Н;
$T_{b,nom}$ — номинальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании, Н;
$T_{b,max}$ — максимальная предварительная нагрузка болта (натяжение) при свинчивании, Н;
ε — разброс значений предварительной нагрузки при свинчивании (см. таблицу G.1);
Δ_b — потеря натяжения болта при использовании растягивающего устройства.

При заданном значении минимальной предварительной нагрузки $T_{b,min}$ номинальное значение определяют по формуле

$$T_{b,nom} = \frac{T_{b,min}}{(1-\varepsilon)}. \quad (G.3)$$

Соответствующую максимальную предварительную нагрузку болта, используемую при свинчивании, определяют по формуле

$$T_{b,max} = \frac{T_{b,min} \cdot (1+\varepsilon+\Delta_b)}{(1-\varepsilon)}. \quad (G.4)$$

G.2.2 Растягивающее устройство

После снятия с болта нагрузки от гидравлического растягивающего устройства и нагружения гайки вследствие усилия от остаточного удлинения болта возникающая в резьбе деформация приводит к потере натяжения болта, которую для стандартных метрических резьб и резьб UN в случае контакта жестких пластин (торцевые фланцы) определяют (в среднем) по формуле

$$\Delta_b = 0{,}9 \cdot \frac{d_b}{l_b}, \quad (G.5)$$

где d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта, м;
l_b — длина болтового крепления (расстояние между крайними витками в зацеплении), м.

Предварительное натяжение болтов при использовании растягивающего устройства должно удовлетворять условию

$$\frac{T_{b,max}}{\sigma_y \cdot A_{b,r}} \le 0{,}9, \quad (G.6)$$

где $A_{b,r}$ — площадь болта по впадине резьбы, м^2;
σ_y — предел текучести, используемый в расчете, Па (см. 6.4.6).

Площадь болта по впадине резьбы A_{br}, мм^2, для стандартных болтов с дюймовой резьбой с углом резьбы 60° определяют по формуле

$$A_{br} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b - 1{,}3 \cdot l_{pitch})^2, \quad (G.7)$$

где l_{pitch} — шаг резьбы, мм;
d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта, мм.

Для аналогичных метрических резьб площадь болта по впадине определяют по формуле (единицы измерения приводят в мм)

$$A_{br} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b - 1{,}22687 \cdot l_{pitch})^2. \quad (G.8)$$

Примеры

1 Для резьбы 1 ¼" 8UN, т. е. содержащей восемь витков резьбы на дюйм, l_{pitch} = 25,4 мм/8 = 3,175 мм и диаметра болта d_b = 1,25 дюйма = 1,25 × 25,4 мм = 31,75 мм, площадь болта по впадине резьбы A_{br} = 599 мм^2.

2 Для резьбы М30 × 3,5, диаметра болта 30 мм, шага резьбы 3,5 мм, A_{br} = 519 мм^2.

G.2.3 Моментный инструмент

Болт должен удовлетворять условиям при свинчивании в соответствии с выражением

$$\sqrt{\left(\frac{T_{b,max}}{\sigma_y \cdot A_{b,r}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{M_{b,max}}{\sigma_y \cdot \frac{\pi \cdot d_b^3}{12}}\right)^2} \le 0{,}9, \quad (G.9)$$

где

$$M_{b,max} = M_{b,nom} \cdot (1 + \varepsilon_t); \quad (G.10)$$

$$M_{b,nom} = \frac{T_{b,nom}}{1} \cdot \left(\frac{l_{pitch}}{\pi} + \frac{\mu_t \cdot d_t}{\cos \beta_{thr}} + \mu_n \cdot d_n \right); \quad (G.11)$$

$$d_n = \frac{d_{nf} + d_{bh}}{2}; \quad (G.12)$$

$$d_t = d_b - 0{,}6493 \cdot l_{pitch}, \quad (G.13)$$

где $M_{b,max}$ — максимальный крутящий момент при свинчивании, Н·м;

$M_{b,nom}$ — номинальный крутящий момент при свинчивании, Н·м;

ε_t — разброс значений прикладываемого крутящего момента при свинчивании, как правило, равен 0,03 для калиброванного моментного инструмента;

d_n — эффективный диаметр контакта опорной поверхности гайки, м;

d_{nf} — размер «под ключ» гайки между параллельными гранями, м;

l_{pitch} — шаг резьбы, м;

μ_t — коэффициент трения между гайкой и резьбой болта;

d_t — средний диаметр резьбы, м;

β_{thr} — половина угла профиля резьбы, равная 30° для UN резьб;

μ_n — коэффициент трения между гайкой и опорной поверхностью;

d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта, м;

d_{bh} — диаметр отверстия под болт, м.

Изготовитель должен отразить в документации значения рекомендуемого крутящего момента и натяжения для конкретного соединения и применяемого инструмента. Инструмент для свинчивания болтов и растягивающее устройство должны быть откалиброваны для обеспечения необходимой точности предварительного натяжения болта и/или крутящего момента.

Предварительное натяжение болтов должно исключать разделение или смещение соединенных фланцев и/или раскрытие зажимов под действием нагрузки. Предварительное натяжение болтов следует выбирать таким образом, чтобы сопротивление трению, создаваемое контактным давлением от предварительного нагружения, исключало проскальзывание соединенных поверхностей.

Для минимизации циклических напряжений в болтах от воздействия внешних циклических нагрузок нагруженную (зажимную) длину участка болта и площадь поперечного сечения следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить максимальную гибкость болта в пределах ограничений конструкции (т. е. максимально увеличить отношение зажимной длины болта к его диаметру).

Затягивание или предварительное натяжение болтокомплекта, подверженного осевой нагрузке, существенно увеличивает сопротивление усталости. Более высокие сжимающие усилия увеличивают жесткость соединения и уменьшают размах напряжений в болте. Кроме того, вероятность усталостного разрушения болтов возрастает, если при сборке используют мягкие прокладки, воспринимающие внешнюю нагрузку, или болты не отцентрированы и не затянуты должным образом. Сопротивление усталости болтов, подверженных действию осевой нагрузки, как правило, нечувствительно к среднему напряжению.

Для оценки циклических напряжений болтов под воздействием давления и внешних нагрузок может быть использован анализ МКЭ. При проведении анализа значение предварительного натяжения болтов следует принимать минимальным.

G.2.4 Рабочая длина резьбового соединения

В свинченном состоянии резьба болта должна выступать за гайку как минимум на один-два витка резьбы.

Если для соединения используют отверстия с внутренней резьбой, то должна быть обеспечена полная высота профиля и чистота поверхности для всех витков резьбы, а рабочая длина резьбового соединения не должна быть меньше значения, определяемого по формуле

$$l_{se} = \min \left[d_b; \left(0{,}75 \cdot \frac{R_{t0,5/T,stud}}{R_{t0,5/T,tapped}} \right) \right], \quad (G.14)$$

где l_{se} — рабочая длина резьбового соединения, м;

d_b — номинальный наружный диаметр резьбы болта, м;

$R_{t0,5/T,stud}$ — заданное минимальное значение предела текучести для 0,5 % относительного удлинения наружной резьбы при заданной температуре, Па;

$R_{t0,5/T,tapped}$ — заданное минимальное значение предела текучести материала внутренней резьбы для 0,5 % относительного удлинения при заданной температуре, Па.

Не рекомендуется, чтобы максимальная рабочая длина резьбового соединения превышала значение, определяемое как $1,5 \cdot d_b$.

G.2.5 Сборка фланцевых соединений

Перед сборкой соединения монтажник должен убедиться в отсутствии повреждений у собираемых элементов и в должной чистоте поверхностей фланцев, болтов и уплотнений. На поверхность резьбы болтов и гаек должна быть нанесена смазка в соответствии с техническими условиями.

Фланцы необходимо устанавливать ровно по контуру и под прямым углом без усилия, чтобы сопрягаемые поверхности равномерно прилегали к уплотнительному кольцу, после чего затянуть с равномерным натяжением болтов до значения, заданного для данного соединения. Для предупреждения неравномерного нагружения следует одновременно использовать несколько инструментов, например, четыре или восемь инструментов.

Для обеспечения правильной установки болтов и уплотнительного кольца сопрягаемые фланцы следует выравнивать.

G.3 Разброс значений предварительной нагрузки для различных методов свинчивания болтов

Все методы свинчивания болтов с приложением крутящего момента или натяжения имеют определенную погрешность. В таблице G.1 даны значения ε для болтов.

Таблица G.1 — Характерные значения ε для болтов

Метод закручивания (затягивания) болтов. Метод измерения	Факторы, влияющие на разброс	Разброс значений ε
Гаечный ключ: с регулируемым или нерегулируемым крутящим моментом	Трение, жесткость, квалификация монтажника	0,5
Ручной пневматический гайковерт	Трение, жесткость, калибровка	0,4
Динамометрический ключ, эквивалентный гаечному ключу, но позволяющий осуществлять измерение крутящего момента	Трение, жесткость, калибровка	0,3
Гидравлическое растягивающее устройство. Измерение гидравлического давления	Жесткость, длина болта, калибровка	0,2
Гаечный ключ или гидравлическое растягивающее устройство. Измерение удлинения болта	Жесткость, длина болта, калибровка	0,15
Гаечный ключ. Контроль угла поворота гайки (почти до предела текучести болта)	Жесткость, длина болта, калибровка	0,10
Гаечный ключ. Измерение крутящего момента и контроль угла поворота гайки (почти до предела текучести болта)	Калибровка	0,07

Опытные монтажники могут обеспечить значение разброса меньшее, чем приведенные в таблице G.1 значения (например, ε = 0,2 вместо ε = 0,3 при использовании динамометрического ключа). У неопытных монтажников разброс может превышать указанные значения.

Для гладких поверхностей с нанесенной смазкой на основе дисульфида молибдена (MoS_2) и для горячеоцинкованных крепежных деталей, соответствующих классу B7 по *[31]* или классу L7 по *[35],* в качестве типового значения коэффициента трения между болтом и гайкой и между гайкой и фланцем могут быть приняты значения от 0,10 до 0,13.

Ниже приведены некоторые факторы, влияющие на соотношение между приложенным крутящим моментом и напряжением в болте:

- шаг, средний диаметр и форма резьбы;
- метод обработки поверхности резьбы и опорной поверхности гайки;
- степень параллельности опорной поверхности гайки и поверхности фланца;
- материал поверхности гайки/болта/опорной поверхности гайки;
- тип смазки резьбы и опорной поверхности гайки.

Факторами, влияющими на предварительное натяжение болта при использовании растягивающего устройства, являются:

a) потеря натяжения при использовании растягивающего устройства;

b) степень параллельности корпуса растягивающего устройства и оси болта.

Приложение Н
(справочное)

Уплотнения

Н.1 Общие положения

Уплотнение представляет собой совокупность сопрягаемых элементов соединения, обеспечивающих необходимую герметичность подвижных или неподвижных соединяемых деталей. Функцией уплотнения является обеспечение и поддержание герметичности между компонентами (фланцы, муфта/ниппель) в течение продолжительного периода времени. Уплотнение должно быть устойчивым к воздействию уплотняемой среды, к внутреннему и внешнему давлению, температуре и внешним нагрузкам.

При оценке свойств уплотнения следует учитывать предварительное натяжение болтов и рассматривать уплотнение, соединитель и входящие в него болты как единую систему. При рассмотрении влияния соединителя на свойства уплотнения необходимо рассматривать такие параметры, как крутящий момент свинчивания ниппеля/муфты соединителя, предварительное натяжение и сопротивление болтов.

При возможности, в соединителях райзера необходимо использовать неподвижные уплотнения, т. е. уплотнения, размещаемые между поверхностями, с минимальным относительным перемещением или неподвижными поверхностями. Неподвижные уплотнения рекомендуются использовать в динамически нагружаемых соединителях.

Уплотнения могут воспринимать внешнюю нагрузку (т. е. являться элементами, несущими основную нагрузку) или не подвергаться воздействию внешней нагрузки. В динамически нагружаемых соединителях рекомендуется использовать конструкцию, в которой уплотнения не подвержены воздействию внешней нагрузки, для обеспечения высокой надежности и герметичности соединения на протяжении всего времени работы. Кроме того, при определении предварительного нагружения соединителя необходимо учитывать возможные сочетания действующих нагрузок.

При проектировании уплотнений для трубопроводной арматуры, фитингов и соединителей следует учитывать действие внешнего давления. Внешнее давление может превысить внутреннее рабочее давление в процессе внутрискважинных работ (при значительном снижении давления в райзере), а также при эксплуатации райзера в глубоководных условиях. При проектировании уплотнения следует учитывать условия эксплуатации и испытаний, при которых может иметь место частое изменение давления уплотняемой среды, что в сочетании с высоким внешним давлением воды приводит к циклическому изменению направления действия давления на уплотнение.

При выборе уплотнения необходимо учитывать срок его службы, химические свойства и температуру уплотняемой среды, рабочие давления и возможные относительные перемещения уплотняющих поверхностей. Уплотнения подвержены повреждениям в процессе перемещения, установки и повторной сборки. Поэтому единичное уплотнение имеет ограниченную надежность. Для повышения надежности соединения можно использовать двойное уплотнение. Для обеспечения резервирования следует использовать два уплотнения, имеющие различную конструкцию и не подверженные общему отказу.

Уплотнение следует устанавливать в процессе свинчивания соединителя с учетом требований 6.4.12 к обеспечению герметичности. Следует отметить, что для более низкого давления (3,5 МПа) контактное напряжение в соединении может быть недостаточным для обеспечения требований к герметичности.

Уплотнения могут быть разделены на две основные категории: металлические уплотнения и мягкие (комбинированные или неметаллические) уплотнения. Более подробная информация приведена в Н.2 и Н.3.

Н.2 Уплотнения «металл к металлу»

В качестве металлического уплотнения можно рассматривать пластически деформируемые металлические кольца, воспринимающие внешнюю нагрузку, упруго деформируемые металлические кольца, не воспринимающие внешнюю нагрузку, или уплотнения, формируемые непосредственным контактом уплотнительных металлических поверхностей. В металлических прокладках в виде уплотнительных колец специальной формы используют как упруго деформируемые, так и пластически деформируемые металлические уплотнения. Уплотнение при использовании металлических уплотнительных колец достигается за счет эффекта расклинивания, который вызывает напряжение сжатия в контакте, обеспечивая герметичность. Некоторые из уплотнений являются самоуплотняющимися, характеризующимися увеличением нагрузки на уплотняющие поверхности за счет давления уплотняемой среды. В большинстве случаев при использовании уплотнения «металл к металлу» для обеспечения герметичности необходимо обеспечивать высокое качество подготовки уплотнительных поверхностей и требуемое значение напряжения сжатия в контакте на уплотняющей/посадочной поверхности.

В технических условиях производителя должно быть указано минимальное начальное контактное напряжение после посадки уплотнения, минимальное контактное давление в процессе эксплуатации и испытаний, необходимое для обеспечения герметичности, и требование к чистоте обработки поверхности. Ниже приведены примеры типовых требований.

Для корректной сборки металлических уплотнений необходимо обеспечить начальное контактное напряжение в уплотнении и месте посадки, приводящее к пластической деформации материала уплотнения или посадоч-

ной поверхности. Для газовой уплотняемой среды требуются более высокие начальные контактные напряжения, чем для жидкой.

Контактное напряжение в уплотнении и месте посадки должно быть выше давления уплотняемой среды. Отношение контактного напряжения к давлению уплотняемой среды должно составлять 2,0 для газа (азот) и 1,2 для жидкости.

Уплотнительные поверхности должны иметь низкую шероховатость. Среднее арифметическое отклонение оцениваемого профиля шероховатости, определяемое в соответствии с *ГОСТ Р ИСО 4287*, не должно превышать *Ra* = 0,8 для газовой среды и *Ra* = 1,6 для жидкости.

Необходимо подтвердить, что при наиболее неблагоприятном сочетании деформаций, заводских допусков и нагрузок не происходит недопустимое уменьшение контактного напряжения в уплотнении и месте посадки, а начальное контактное напряжение обеспечивает пластическую деформацию материала, достаточную для создания надежного уплотнения.

Для улучшения уплотняющих свойств на металлические уплотнения может быть нанесено покрытие. Как правило, для снижения истирания применяют цинк или фосфат марганца, для повышения газонепроницаемости можно применять покрытие серебром. Политетрафторэтилен можно применять для снижения трения, улучшения герметичности применительно к жидкой уплотняемой среде и т. д. В каждом случае в рамках квалификации выбранного покрытия для условий применения должны быть проведены испытания. В процессе выбора покрытия следует учитывать механическую, электрохимическую и химическую совместимость материалов, рабочие температуру и давление, внешние нагрузки и срок службы.

Н.3 Мягкие уплотнения

Материалы, из которых изготавливают мягкие уплотнения, имеют различные характеристики стойкости к действию химически агрессивной среды и к повышенным температурам. Такие материалы, как правило, имеют незначительную прочность, разрушаются при выдавливании и могут разрушаться при снижении начального контактного напряжения после посадки уплотнения (см. *[54]*). Со временем эксплуатационные свойства мягких уплотнений ухудшаются, кроме того, они подвержены ползучести.

Для подтверждения функциональных свойств мягкого уплотнения должно быть определено наиболее неблагоприятное сочетание деформаций и допусков, приводящих к формированию зазора, через который может происходить выдавливание уплотнения. В процессе квалификации мягких уплотнений должен быть определен срок их службы или периодичность замены, допустимые значения температуры и давления, минимальное значение зазора, приводящего к выдавливанию, и параметров уплотняемой среды. Для уплотнений подвижных соединений должны быть проведены циклические испытания. Процесс квалификации уплотнения должен включать испытание на герметичность.

При расчете максимально допустимого зазора, исключающего выдавливание уплотнения, следует учитывать все допуски, технологические зазоры и деформации, включая осевое смещение соединений.

Эластомеры и полимеры подвержены ухудшению эксплуатационных свойств при воздействии окружающей среды. В процессе квалификации таких материалов должны быть проведены испытания на воздействие окружающей среды в соответствии с требованиями признанных стандартов, например *ГОСТ 28198*.

Руководство по испытанию неметаллических уплотнений приведено в *[12]* (подраздел F.1.13).

Приложение J
(обязательное)

Квалификация соединителей

J.1 Введение

J.1.1 Назначение

В приложении J приведены рекомендации по проведению квалификации соединителей.

J.1.2 Общие положения

В результате процесса квалификации соединителей должно быть подтверждено их соответствие установленным конструктивным и функциональным требованиям (см. 6.6).

Программа квалификации соединителя должна содержать расчеты, включая анализ с использованием МКЭ, и перечень необходимых испытаний. Испытания следует проводить на ограниченном числе образцов с целью верификации результатов анализа МКЭ и проверки эксплуатационных параметров, которые не могут быть смоделированы с помощью МКЭ, например сопротивление истиранию, износ, предотвращение утечек, влияние обработки поверхности на эксплуатационные характеристики, свойства покрытий, вид и количество смазки.

Анализ МКЭ следует проводить для оценки конструктивных решений, проверки герметичности и усталостных характеристик соединения. Должны быть разработаны диаграммы сопротивления (границы условий эксплуатации) для контроля целостности и герметичности соединения с использованием анализа МКЭ (см. приложение D). Для оценки эксплуатационных свойств уплотнителей и конструктивной целостности соединителя должен быть выполнен упругопластический анализ МКЭ с включением в модель контактных поверхностей. Должны быть рассмотрены все применимые значения давления, температуры и внешних нагрузок, включая циклическое воздействие указанных факторов. Результаты должны быть представлены в виде детализированных диаграмм контактных напряжений между уплотнительными поверхностями для оценки герметичности и в виде диаграмм напряжений, деформаций и смещений для исследования потенциальных режимов и мест возникновения отказов. Характеристики распределения контактных напряжений в уплотнении, такие как длина, ширина и общая форма, в дополнение к средней контактной нагрузке на единицу ширины контакта (1 мм), в наибольшей мере определяют эксплуатационные свойства уплотнения.

Объем испытаний в рамках процедуры квалификации должен быть согласован изготовителем и заказчиком. Как минимум, должны быть проведены следующие полномасштабные испытания:

- гидростатическое испытание корпуса для верификации конструктивной целостности и герметичности;
- испытания с циклическим изменением давления, включая циклы изменения температуры, если применимо, для верификации герметичности при проектном и пониженном давлении;
- испытание внутренним давлением на разрыв для верификации целостности при действии давления;
- испытание на воздействие внешних нагрузок в сочетании с функциональными испытаниями для верификации диаграмм сопротивления;
- испытание на воздействие внешних циклических нагрузок для верификации сопротивления усталости и обеспечения герметичности;
- испытание внешним давлением для верификации герметичности относительно действия внешнего флюида.

При планировании испытаний в рамках квалификации следует оценить влияние проектных температур (максимальных и минимальных) и действующих на соединитель флюидов. Могут быть также включены дополнительные испытания, приведенные в J.9.

Процесс квалификации должен включать валидацию результатов испытаний и расчетов, предпочтительно с использованием анализа МКЭ.

J.1.3 Безопасность персонала при проведении испытаний

Процедуры испытаний должны включать описание потенциальных опасностей и требования к обеспечению безопасности персонала. Должны быть приняты меры по устранению или минимизации воздействия каждого источника опасности. Испытания следует проводить в специально предназначенных для этого местах.

Перед началом испытания испытательное оборудование должно быть проверено на соответствие требованиям безопасности.

При испытании газовой средой в каждый образец для испытания должны быть помещены цельнометаллические вставки для минимизации подаваемого в образец объема газа. Диаметр вставки должен быть как можно ближе к внутреннему диаметру образца для испытания.

J.1.4 Испытательное оборудование и образцы для испытания

Для обеспечения достоверности результатов испытаний испытательное оборудование должно быть квалифицировано для данного вида испытаний и должна быть проведена его калибровка, результаты которой необходимо отразить в эксплуатационной документации. Испытательное оборудование должно обеспечивать создание

внутреннего давления, изгибающего момента и/или осевой нагрузки для проведения комбинированных испытаний с нагружением.

Соединитель, используемый при проведении испытаний в рамках квалификации, должен полностью соответствовать стандартному элементу райзера, включая размеры с учетом технологических допусков, технологию обработки поверхности, использованные покрытие и материалы.

До начала любого испытания размеры и состояние поверхности соединителя должны соответствовать параметрам соединителя после изготовления. Если значение допусков влияет на эксплуатационные свойства соединителя, то испытания следует проводить при наиболее неблагоприятном сочетании допусков. До начала испытания должны быть представлены сертификаты материалов соединителя и протоколы неразрушающего контроля.

Вся предусмотренная проектом термообработка соединителя и сварных швов должна быть проведена до начала испытания. Образцы в исходном состоянии и после снятия напряжений подлежат проверке для количественной оценки деформаций, вызванной сваркой и термообработкой. Должно быть проведено сравнение текущих размеров с размерами, снятыми до выполнения сварки. Полученные результаты должны быть использованы для подтверждения соответствия размеров соединителя установленным допускам. Особое внимание должно быть уделено размерам поверхностей, на которые устанавливают уплотнения.

Для соединителей, приваренных к трубе, необходимо отразить в документации размеры кольцевого сварного шва, включая осевое смещение между трубой и соединителем.

Длина образцов должна быть достаточной для исключения влияния граничных и концевых эффектов на результаты испытаний.

Для оценки воздействия изгибающего момента следует применять четырехточечный изгиб для создания постоянного значения изгибающего момента на испытываемом участке.

При проведении испытания свинчивание и развинчивание резьбовых соединений следует выполнять в соответствии с процедурой, аттестованной изготовителем.

При наличии резервирования уплотнителей в процессе испытания должно быть подтверждено, что герметичность соединения обеспечивается основным уплотнителем. Перед испытаниями на предельные нагрузки и усталость соединитель должен быть свинчен с минимально допустимым предварительным натяжением.

При проведении испытаний, как правило, требуется не менее трех образцов. Примеры использования образцов для испытания приведены в таблице J.1.

Таблица J.1 — Пример использования образцов для испытания

Образец 1	Образец 2	Образец 3
Функциональные испытания	Функциональные испытания	Функциональные испытания
Циклическое испытание внутренним давлением	Испытание внешним давлением	Испытание на воздействие внешних циклических нагрузок
Испытание на воздействие внешних циклических нагрузок	Испытание на воздействие внешних циклических нагрузок	Испытание на воздействие внешних циклических нагрузок до разрушения образца
Испытание внутренним давлением на разрыв	Испытание на воздействие внешних нагрузок, включая испытание до разрушения конструкции	—

J.1.5 Методы контроля

Все испытания должны быть проведены при использовании надлежащей системы сбора данных, включая показания тензометрических датчиков, значения давления, температуры и т. д.

На образцы для испытания должны быть установлены тензометрические датчики для определения напряжений на основных участках и сравнения полученных значений с результатами анализа МКЭ. Как правило, к основным относятся участки с наибольшими концентрациями напряжений и участки, где возможно образование пластического шарнира. Для фланцевых соединений должен быть обеспечен контроль состояния болтов.

Тензодатчики должны обеспечивать верификацию предварительных напряжений, напряжений вблизи участков концентрации напряжений и в стороне от таких участков. У приваренных соединителей тензодатчики должны быть размещены в зоне кольцевых сварных швов, а для соединителей с болтовым креплением должно быть проведено измерение деформации репрезентативных болтов. Показания тензодатчиков и соответствующие им условия нагружения должны быть зарегистрированы и сохранены как часть проектной документации соединителя.

J.1.6 Смазка и покрытие

Смазка и покрытие соединителя должны быть квалифицированы для условий применения. В процессе выбора и квалификации следует как минимум учитывать следующие показатели: трение, образование задиров, коррозионную защиту, совместимость с уплотнительными элементами, совместимость с внутренними и/или внешними

флюидами, методы нанесения и удаления, объем и место нанесения, количество наносимой смазки для защиты ниппеля/муфты гидравлических фиксаторов/сальников и т. д.

Примечание — Общепринятой практикой является покрытие резьб соединителей политетрафторэтиленом, фосфатом цинка, фосфатом марганца, медью, гальваническим цинкованием, горячим цинкованием и т. д. Некоторые покрытия уменьшают трение и коррозию, другие улучшают приработку и защищают от задиров, или увеличивают трение.

Если предусмотрено использование резьбовой смазки, то необходимо определить процедуру ее нанесения для обеспечения постоянной консистенции в процессе испытаний и эксплуатации.

J.1.7 Среда при проведении испытаний

В качестве рабочей среды в процессе испытаний для нормальных и экстремальных условий необходимо использовать воздух или азот, за исключением случаев, когда размер образца для испытания требует большого объема газа, который не может быть снижен за счет использования цельнометаллических вставок, или если испытания газовой средой не обеспечивают выполнение требований безопасности персонала. Все испытания до разрушения образца должны быть проведены с применением воды или аналогичной жидкости, не содержащей твердых частиц.

Испытания внешним давлением проводят с применением воды или аналогичной жидкости, не содержащей твердых частиц.

J.1.8 Период выдержки

Начало периода выдержки соответствует моменту стабилизации давления и температуры. Должна быть задана продолжительность периода выдержки для каждого шага нагружения, время выдержки не должно быть менее 15 мин. Давление считают стабилизировавшимся, если скорость его изменения не превышает меньшее из значений: 5 % от давления испытания в час или 3,45 МПа/ч. На протяжении периода выдержки изменение давления не должно превышать меньшее из значений: 5 % от давления испытания или 3,45 МПа. Температуру считают стабилизировавшейся, если скорость ее изменения составляет менее 0,55 °С/мин. На протяжении периода выдержки температура не должна превышать экстремальное значение больше чем на 11,1 °С.

J.1.9 Контроль после испытаний

Образцы для испытания должны быть разобраны и обследованы. Релевантные элементы должны быть сфотографированы. По результатам проверки должно быть оформлено документальное заключение, что соединитель или его компонент не содержит дефектов, не соответствующих эксплуатационным требованиям.

После испытания(ий) необходимо выполнить измерение образцов для испытания с целью количественной оценки остаточной деформации, возникшей в процессе испытания(ий). Полученное значение остаточной деформации должно быть использовано для валидации параметров прочности и герметичности соединителя.

J.1.10 Требования к площадке проведения испытаний

Испытание может проводить изготовитель непосредственно на производстве в присутствии уполномоченных представителей. Испытательная площадка должна быть аккредитована признанной организацией или как минимум использующееся на ней оборудование должно быть откалибровано, например контрольно-измерительная аппаратура, стенды для нагружения, датчики давления, инструмент для свинчивания/развинчивания.

Программа испытаний должна как минимум включать:

- порядок подготовки для каждого вида испытаний;
- пошаговые процедуры для каждого вида испытаний;
- значения прикладываемых нагрузок для каждого вида испытаний.

Для всех видов испытаний должна быть обеспечена непрерывная регистрация значений давления, температуры, осевой нагрузки, изгиба, деформации и скорости утечки.

На испытательной площадке следует вести журнал выполненных испытаний для каждого соединения, в котором необходимо отражать дату и время проведения каждого шага процедуры и все отклонения, зафиксированные в процессе испытания. Необходимо выполнять фотографирование образца для испытания. При испытаниях до разрушения образец должен быть сфотографирован после разрушения с указанием места и вида разрушения.

J.1.11 Верификация соединителя и внесение изменений

Соединитель с типовыми размерами для изготавливаемой серии должен быть подвержен испытаниям в рамках процесса квалификации. Подтверждение соответствия соединителей аналогичного типа, но имеющих другие размеры, может быть обеспечено посредством выполнения расчетов и/или проведения анализа МКЭ. Испытываемый соединитель должен соответствовать изготавливаемым изделиям в отношении конструкции, размеров и используемых материалов.

Соединитель одного типоразмера можно использовать для верификации соединителей другого типоразмера при условии, что у них соответствуют принципы и критерии проектирования, используемые материалы, конфигурация и функциональные требования.

Если конструкция изделия имеет отличия в форме, функциях или использованных материалах, то изготовитель должен подготовить заключение, отражающее влияние таких изменений на эксплуатационные свойства

соединителя. Проект, в который внесены значительные изменения, является новым проектом, требующим проведения повторной квалификации. Значительным является любое изменение конфигурации или используемых материалов, которое влияет на эксплуатационные параметры изделия или условия его применения. Внесенные изменения должны быть отражены в документации, изготовитель должен обосновать необходимость проведения повторной квалификации или отсутствие такой необходимости. При использовании других материалов проведение повторных испытаний может не потребоваться, если применимость новых материалов может быть подтверждена другими средствами.

Следует с осторожностью использовать эффект масштабирования, если существует неопределенность в допустимости применения решений реализованного проекта, например для условий высокой температуры и/или давления.

J.1.12 Свидетельство третьей стороны

При проведении испытаний следует предусмотреть присутствие представителя независимой третьей стороны.

J.2 Гидростатические испытания

До начала испытаний в рамках процесса квалификации все образцы для испытания должны быть подвергнуты гидростатическому испытанию с давлением до 1,5 от проектного значения.

J.3 Циклические испытания давлением и температурой

В процессе испытания соединителя должно быть реализовано не менее трех циклов изменения давления в диапазоне от нуля до проектного давления. Проверка герметичности должна быть осуществлена при проектном давлении. Перед началом и после проведения испытания циклическим давлением следует проводить испытание на герметичность при пониженном давлении при комнатной температуре. При необходимости учета влияния температуры испытания следует проводить в соответствии с требованиями *[12]* (подразделы F.1.11 и F.1.13 для металлических и неметаллических уплотнений соответственно). Для металлических уплотнений пониженное давление при испытании на герметичность должно составлять от 1,38 до 2,07 МПа.

J.4 Испытание внутренним давлением на разрыв

Для подтверждения целостности и эффективности уплотнителей соединителя и определения механизма разрушения должно быть проведено гидравлическое испытание внутренним давлением на разрыв соединителя/трубы.

J.5 Испытания на воздействие внешних нагрузок

Испытания на предел прочности и герметичность следует проводить при сочетании внутреннего давления и внешних нагрузок для верификации конструктивной прочности, сопротивления разъединению контактных поверхностей и герметичности (см. диаграммы на рисунке 11), подтверждения функциональности после экстремальных условий эксплуатации и определения механизма разрушения конструкции. Для двухканальных райзеров к испытываемому соединению необходимо добавить канал доступа в затрубное пространство и крепежные хомуты.

В результате испытания на разрушение конструкции соединителя должна быть определена разница между расчетным и фактическим пределом прочности. При проведении испытания предел прочности трубы должен превышать предел прочности соединителя для исключения разрушения трубы до завершения испытания.

Испытываемые образцы должны быть подвергнуты нагрузкам, определяемым на основе диаграммы сопротивления соединителя для различных режимов эксплуатации. В процессе испытания соединитель должен быть троекратно подвергнут нагрузкам, соответствующим нормальному и экстремальному режимам эксплуатации. После приложения нагрузок, соответствующих экстремальным условиям эксплуатации, необходимо выполнить операции развинчивания и свинчивания соединителя для подтверждения отсутствия влияния остаточных деформаций на выполнение указанных операций. Соединитель должен быть подвергнут воздействию особой нагрузки в сочетании с низким внутренним давлением. В таблице J.2 представлен пример сочетания нагрузок и давления в процессе испытания для различных условий эксплуатации. Проверка герметичности при комбинированном нагружении должна быть проведена при низком и высоком давлении. Испытание на герметичность при низком давлении выполняют при давлении от 1,38 до 2,07 МПа. Испытание на герметичность при высоком давлении проводят при проектном значении давления соединителя.

Таблица J.2 — Пример сочетания нагрузок и давления

Испытание	Внутреннее давление	Внешняя нагрузка
Нагрузки, соответствующие нормальным условиям эксплуатации	Низкое	Низкое усилие на растяжение и большой изгибающий момент
	Низкое	Значительное усилие на растяжение и небольшой изгибающий момент
	Проектное	Низкое усилие на растяжение и большой изгибающий момент
	Проектное	Значительное усилие на растяжение и небольшой изгибающий момент
Нагрузки, соответствующие экстремальным условиям эксплуатации	Низкое	Низкое усилие на растяжение и большой изгибающий момент
	Низкое	Значительное усилие на растяжение и небольшой изгибающий момент
	Проектное	Низкое усилие на растяжение и большой изгибающий момент
	Проектное	Значительное усилие на растяжение и небольшой изгибающий момент
Особая нагрузка	Низкое	Усилие на растяжение и/или изгибающий момент
Испытание до разрушения	Проектное или низкое	Усилие на растяжение и/или изгибающий момент до разрушения конструкции соединителя

После завершения испытания с воздействием нагрузок, соответствующих экстремальным условиям эксплуатации, и перед испытанием на разрушение конструкции соединитель должен быть разобран и выполнен контроль его состояния.

Если после испытания на воздействие особой нагрузки отсутствуют утечки из соединителя, то нагрузка должна быть уменьшена до значения, соответствующего нормальным условиям эксплуатации, и должны быть проведены испытания для верификации герметичности.

Испытание на разрушение конструкции соединителя проводят посредством увеличения внешней нагрузки при низком или проектном внутреннем давлении флюида. В процессе увеличения нагрузки и до разрушения соединителя необходимо регистрировать возникающие утечки вместе с указанием значения приложенной нагрузки.

J.6 Циклическое испытание внешней нагрузкой

Соединитель должен быть подвергнут испытаниям на усталость посредством моделирования проектного циклического нагружения. Испытания на усталость проводят для решения следующих задач:

- верификации усталостных характеристик, заявленных изготовителем;
- выбора соединителя, сопротивление усталости которого соответствует условиям проекта;
- проверки герметичности (контроль износа уплотнения) в процессе циклического нагружения;
- идентификации мест возникновения и развития усталостных трещин и верификации значения коэффициентов концентрации напряжений.

Для сварных соединителей усталостная долговечность соединителя не должна быть меньше усталостной долговечности кольцевых сварных швов. При планировании испытания следует использовать средние кривые усталости *S*—*N*. Размах напряжений в присоединенной трубе должен соответствовать среднему количеству циклов до разрушения, примерно равному 100 000.

В процессе испытания в образце должно быть создано внутреннее давление флюида, соответствующее проектному давлению. Если основной усталостной нагрузкой является циклический изгибающий момент, то к образцу может быть приложено постоянное осевое растягивающее усилие, соответствующее ожидаемому/среднему растягивающему усилию в процессе эксплуатации. После циклических испытаний следует провести испытание на герметичность при низком давлении.

Циклическое испытание внешней нагрузкой, как правило, проводят на воздухе при комнатной температуре.

Циклическому испытанию должно быть подвержено не менее трех образцов. Как минимум, для одного образца испытание должно быть проведено до разрушения соединителя с целью идентификации участков, критических с точки зрения усталостного разрушения.

J.7 Испытание внешним давлением

Испытание внешним давлением проводят для проверки целостности соединителя и эффективности уплотнения при воздействии внешнего давления.

По результатам испытания должна быть подтверждена герметизирующая способность уплотнений при действии внешнего гидростатического давления. Значение внешнего давления в процессе испытания должно быть как минимум на 20 % больше, чем максимальное гидростатическое давление, ожидаемое при эксплуатации. Внутреннее давление в соединителе должно равняться атмосферному.

Если соединитель оборудован внешними патрубками для измерения давления, то они могут быть использованы для подтверждения герметичности уплотнителей, при условии что используемые уплотнители обеспечивают двухстороннюю герметичность.

J.8 Функциональные испытания

Для подтверждения параметров процесса соединения в рабочих условиях, их повторяемости в процессе многократного соединения и взаимозаменяемости соединителей должны быть проведены испытания на соединение и отсоединение. Кроме того, должно быть подтверждено, что уровень износа и образования задиров находится в допустимых пределах, а используемые процедуры и инструменты остаются применимыми после притирки поверхностей в результате многократного повторения процесса соединения и циклического воздействия температуры. Следует оценить влияние потенциальных повреждений, возникающих при перемещении соединителя.

Должно быть определено максимально допустимое количество операций по сборке соединителя в течение расчетного срока эксплуатации. При испытании должно быть выполнено не менее 10 последовательностей соединения.

Если применимо, значения, полученные в результате анализа МКЭ, следует подтвердить показаниями тензодатчиков, установленных на выбранных участках соединителя и на болтах. Измеренные остаточные напряжения от предварительного натяжения должны быть ниже максимально допустимых напряжений и превышать минимально необходимые напряжения при предварительном натяжении.

Для подтверждения функциональности как минимум три образца следует испытать на соединение, отсоединение и взаимозаменяемость. Каждый образец следует как минимум пять раз соединить, испытать при давлении, составляющем не менее 1,25 от проектного давления, и отсоединить. Испытание давлением может сочетаться с испытанием на герметичность при низком давлении. После этого каждую половину образца следует соединить с новым компонентом и повторить испытание. Если необходимо, может быть выполнена замена уплотнительных элементов соединителя.

J.9 Дополнительные испытания

При необходимости должен быть определен состав и должно быть организовано проведение дополнительных испытаний. Примерами таких испытаний являются: испытание спайдера на внешнее воздействие, испытание под нагрузкой вспомогательного инструмента, испытание крепежных устройств вспомогательных линий райзера, испытание на воздействие максимальной и/или минимальной температуры и циклические температурные испытания, испытание соединений с многоконтурными уплотнениями, испытание эластомерных уплотнений, испытания для оценки влияния изменения размера допуска на коррозию, испытание для оценки влияния давления смазки, испытание на воздействие малоцикловой обратной нагрузки, испытание на огнестойкость, испытания на воздействие флюида, содержащего сероводород, испытание на щелевую коррозию, испытание на сжатие, испытание на возникновение самоблокировки, испытание на адгезию покрытия и испытание на нагрузку при контакте с внешними объектами. Руководство по циклическим испытаниям на воздействие давления и температуры приведено в *[12]* (подраздел F.1.11).

При проектировании следует провести анализ процессов подключения, фиксации и отсоединения гидравлического соединителя в экстремальных условиях эксплуатации, характеризующихся наличием углового и осевого смещений, а также поворота гидравлического соединителя относительно разъема. Результаты исследований должны быть верифицированы при проведении испытаний.

J.10 Документация

После завершения испытаний должны быть подготовлены протоколы испытаний, подтверждающие, что испытания в рамках процесса квалификации соединителя были проведены в соответствии с положениями настоящего стандарта.

Изготовителем должны быть подготовлены документы, содержащие описание процедур проведения и результатов всех испытаний, выполненных в рамках процесса квалификации соединителя на соответствие требованиям настоящего стандарта. Если применимо, протокол испытаний должен включать следующую информацию или ссылки на источники, содержащие данную информацию:

a) идентификационный номер и номер редакции документа, содержащего описание процесса испытания или отдельной процедуры;

b) данные для идентификации соединителя и компонентов, подвергшихся испытанию;

c) рабочие чертежи соединителя и технические условия на материалы, использованные при изготовлении соединителя, включая уплотнения и болты;

d) чертеж общего вида испытательного стенда, соединителя, уплотнения и образца для испытания, с отображением участков, на которых выполнялись измерения температуры и давления;

e) описание процедуры предварительного натяжения, включая значение крутящего момента при свинчивании и развинчивании соединения или усилия, прикладываемого растягивающим устройством;

f) фактические размеры уплотнительных поверхностей перед сваркой, после сварки и термообработки и после испытания;

g) все параметры испытаний, указанные в настоящем стандарте, включая фактические условия испытаний (давление, температура, нагрузки и т. д.) и зафиксированные факты возникновения утечки (нарушения герметичности) или другие факты, отражающие критерии приемки результатов испытания;

h) описание испытательной среды;

i) сертификаты на материалы, использованные при изготовлении компонентов, подвергшихся испытанию;

j) состав и квалификация персонала, проводившего и контролировавшего испытания;

k) время и место проведения испытания.

Сравнение и оценку результатов испытаний следует проводить с учетом результатов анализа МКЭ и возможных отклонений размеров, допусков и прочностных характеристик. Для оценки результатов испытания на воздействие внешнего изгибающего момента может потребоваться выполнение трехмерного анализа МКЭ.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 1497—84	IDT	ISO 6892:1984 «Материалы металлические. Испытание на растяжение»
ГОСТ 31446—2017 (ISO 11960:2014)	MOD	ISO 11960:2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Трубы стальные, используемые в качестве обсадных и насосно-компрессорных труб для скважин»
ГОСТ 31458—2015 (ISO 10474:2013)	MOD	ISO 10474:2013 «Сталь и стальные изделия. Документы о контроле»
ГОСТ 31841—2012 (ISO 14693:2003)	MOD	ISO 14693:2003 «Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для бурения и обслуживания скважин»
ГОСТ 31844—2012 (ISO 13535:2000)	MOD	ISO 13535:2000 «Нефтяная и газовая промышленность. Буровое и эксплуатационное оборудование. Подъемное оборудование»
ГОСТ 32696—2014 (ISO 11961:2008)	MOD	ISO 11961:2008 «Нефтяная и газовая промышленность. Трубы бурильные стальные»
ГОСТ 33439—2015	NEQ	ISO 4885:1996 «Черные металлы. Термическая обработка. Словарь»
ГОСТ 34438.2—2018 (ISO 10424-2:2007)	MOD	ISO 10424-2:2007 «Нефтегазовая промышленность. Оборудование для роторного бурения. Часть 2. Нарезание резьбы и контроль калибрами резьбовых упорных соединений»
ГОСТ ISO 898-1—2014	IDT	ISO 898-1:2013 «Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 1. Болты, винты и шпильки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы»
ГОСТ ISO 898-2—2015	IDT	ISO 898-2:2012 «Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 2. Гайки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы»
ГОСТ ISO 3183—2015	IDT	ISO 3183:2012 «Нефтяная и газовая промышленность. Трубы стальные для трубопроводно-транспортных систем»
ГОСТ ISO/IEC 17025—2019	IDT	ISO/IEC 17025:2017 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий»
ГОСТ Р 51365—2009 (ИСО 10423:2003)	MOD	ISO 10423:2003 «Промышленность нефтяная и газовая. Буровое и эксплуатационное оборудование. Устьевая и фонтанная арматура»
ГОСТ Р 53678—2009 (ИСО 15156-2:2003)	MOD	ISO 15156-2:2003 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 2. Системы гибких труб многослойной структуры без связующих слоев для подводного и морского применения»

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 53679—2009 (ИСО 15156-1:2001)	MOD	ISO 15156-1:2001 «Промышленность нефтяная и газовая. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при нефте- и газодобыче. Часть 1. Общие принципы выбора трещиностойких материалов»
ГОСТ Р 53845—2010 (ИСО 377:1997)	MOD	ISO 377:1997 «Сталь и стальные изделия. Расположение и приготовление испытываемых образцов и образцов для конкретных механических испытаний»
ГОСТ Р 59309—2021 (ИСО 13628-2:2006)	MOD	ISO 13628-2:2006 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 2. Системы гибких труб многослойной структуры без связующих слоев для подводного и морского применения»
ГОСТ Р 71160—2023 (ИСО 13628-6:2006)	MOD	ISO 13628-6:2006 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 6. Системы управления подводной добычей»
ГОСТ Р 71204—2024 (ИСО 13628-5:2009)	MOD	ISO 13628-5:2009 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 5. Подводные шлангокабели»
ГОСТ Р ИСО 148-1—2013	IDT	ISO 148-1:2009 «Материалы металлические. Испытание на ударный изгиб на маятниковом копре по Шарпи. Часть 1. Метод испытания»
ГОСТ Р ИСО 2566-1—2009	IDT	ISO 2566-1:1984 «Сталь. Таблицы перевода величин относительного удлинения. Часть 1. Сталь углеродистая и низколегированная»
ГОСТ Р ИСО 6507-1—2007	IDT	ISO 6507-1:2005 «Материалы металлические. Определение твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод испытания»
ГОСТ Р ИСО 9606-1—2020	IDT	ISO 9606-1:2012 «Аттестационные испытания сварщиков. Сварка плавлением. Часть 1. Стали»
ГОСТ Р ИСО 9712—2019	IDT	ISO 9712:2012 «Неразрушающий контроль. Квалификация и аттестация персонала»
ГОСТ Р ИСО 13533—2013	IDT	ISO 13533:2001 «Нефтяная и газовая промышленность. Буровое и нефтепромысловое оборудование. Буровое проходное оборудование»
ГОСТ Р ИСО 13628-4—2016	IDT	ISO 13628-4:2010 «Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 4. Подводное оборудование устья скважины и устьевой елки»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты;
- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Библиография

[1]	API Spec 16C-2021	Технические условия на фонтанные и противовыбросовые системы (Specification for Choke and Kill Systems)
[2]	API RP 17B-2014	Рекомендации для гибких труб (Recommended Practice for Flexible Pipe)
[3]	ИСО 13628-11:2007	Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 11. Системы гибких трубопроводов для подводного и морского применения (Petroleum and natural gas industries — Design and operation of subsea production systems — Part 11: Flexible pipe systems for subsea and marine applications)
[4]	IMO circular 645	Циркуляр Международной морской организации. Руководство для судов, оборудованных системой динамического позиционирования (Guideline for vessels with dynamic positioning systems)
[5]	ASME PCC 1	Руководство для фланцевых болтовых соединений для оборудования, работающего под давлением (Guidelines for pressure boundary bolted flange joint assembly)
[6]	BLEVIN R.D., Формулы для собственной частоты и формы колебаний (Formulas for natural frequency and mode shape, Krieger, 1984)	
[7]	API RP 2A-WSD	Рекомендации по планированию, проектированию и строительству стационарных морских платформ. Метод проектирования по допустимым напряжениям. (Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms — Working Stress Design)
[8]	API RP 2RD	Проектирование райзеров для плавучих нефтегазопромысловых сооружений и платформ на натяжных опорах (Design of kisers for aloating Production Systems (FPSs) and Tension-Leg Platforms (TLPs))
[9]	KIRKEMO F. Уравнения предельного состояния труб при разрыве и больших пластических деформациях. Часть 1. Теория. Труды Международного общества морских и полярных инженеров (Burst and gross plastic deformation limit state equations for pipes — Part 1: Theory, Proceedings of the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), 2001)	
[10]	KIRKEMO F. and HOLDEN H., Уравнения предельного состояния труб при разрыве и больших пластических деформациях. Часть 2: Применение. Труды Международного общества морских и полярных инженеров (Burst and gross plastic deformation limit state equations for pipes — Part 2: Applications, Proceedings of the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), 2001)	
[11]	API Spec 6A	Спецификация на устьевое оборудование и фонтанную арматуру (Specification for Wellhead and Tree Equipment)
[12]	ИСО 10423:2003	Нефтяная и газовая промышленность. Буровое и эксплуатационное оборудование. Устьевое оборудование и фонтанная арматура (Petroleum and natural gas industries Drilling and production equipment Wellhead and tree equipment)
[13]	DIN EN 1591-1-2014	Фланцы и их соединения. Правила расчета круглых фланцевых соединений с прокладкой. Часть 1. Метод расчета (Flanges and their joints — Design rules for gasketed circular flange connections — Part 1: Calculation)
[14]	DIN EN 1591-2-2008	Фланцы и их соединения. Правила расчета круглых фланцевых соединений с прокладкой. Часть 2. Параметры прокладки (Flanges and their joints — Design rules for gasketed circular flange connections — Part 2: Gasket parameters; German version EN 1591-2:2008)
[15]	API Bull 6AF	Свойства фланцев API при воздействии сочетания нагрузок. (Capabilities of API Flanges Under Combinations of Load)
[16]	API Bull 6AF1	Температурное снижение характеристик фланцев API при комбинированной нагрузке (Temperature De-rating of API Flanges Under Combination of Loading)
[17]	API Bull 6AF2	Свойства цельных фланцев API при воздействии сочетания нагрузок (Capabilities of API Integral Flanges Under Combination of Loading)

[18]	ISO/TR 9769:2018	Чугун и сталь. Обзор существующих методов анализа (Steel and iron — Review of available methods of analysis)
[19]	ИСО 6892-3:2015	Материалы металлические. Испытания на растяжение. Часть 3. Метод испытания при низкой температуре (Metallic materials — Tensile testing — Part 3: Method of test at low temperature)
[20]	API RP 579	Рекомендуемая практика для оценки пригодности к применению. (Recommended practice for fitness-for-service)
[21]	BS 7910:2019	Руководство по методам оценки приемлемости дефектов металлических конструкций (Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures)
[22]	BS 7448-1-1991	Испытания на ударную вязкость по механике разрушения. Метод определения KIc, критических значений CTOD и J металлических материалов (Fracture mechanics toughness tests. Method for determination of KIc, critical CTOD and critical J values of metallic materials)
[23]	BS 7448-2:1997	Испытания на ударную вязкость по механике разрушения. Метод определения KIc, критических значений CTOD и J сварных швов металлических материалов (Fracture mechanics toughness tests. Method for determination of KIc, critical CTOD and critical J values of welds in metallic materials)
[24]	MSS SP-25	Стандартная система маркировки для клапанов, фитингов, фланцев и союзов (Standard Marking System for Valves, Fittings, Flanges, and Unions)
[25]	ИСО 9327-1:1999	Поковки и катаные или кованые прутки стальные для работы под давлением. Технические условия поставки. Часть 1. Общие требования (Steel forgings and rolled or forged bars for pressure purposes — Technical delivery conditions — Part 1: General requirements)
[26]	АСТМ A182/A182M-23	Стандартные технические условия на поковки из катаной легированной и нержавеющей стали для фланцев трубопроводов, кованых фитингов, трубопроводной арматуры и деталей для транспортировки при высокой температуре (Standard specification for forget or rolled alloy and stainless steel pipe flanges, forged fittings, and valves, and parts for high-temperature service)
[27]	АСТМ A694/ A694M-16(2022)	Стандартные технические условия на поковки из углеродистой и легированной стали для фланцев трубопроводов, фитингов, трубопроводной арматуры и деталей для трубопроводной транспортировки под высоким давлением (Standard specification for carbon and alloy steel forgings for pipe flanges, fittings, valves, and parts for high-pressure transmission service)
[28]	АСТМ A707/A707M-19	Стандартные технические условия на кованые фланцы из углеродистой и легированной стали для эксплуатации при низких температурах (Standard specification for forged carbon and alloy steel flanges for low-temperature service)
[29]	АСТМ A370-23	Стандартные методы испытаний и определения для механических испытаний стальных изделий (Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products)
[30]	АСТМ A508/A508M-23	Стандартные технические условия на поковки из углеродистой и легированной стали, подвергнутые закалке и отпуску в вакууме, для сосудов под давлением (Standard specification for quenched and tempered vacuum-treated carbon and alloy steel forgings for pressure vessels)
[31]	АСТМ A193/A193M-23	Стандартные технические условия на крепежные изделия из легированных и нержавеющих сталей для эксплуатации при высоких температурах или высоких давлениях и других специальных условиях эксплуатации (Standard specification for alloy-steel and stainless steel bolting for high temperature or high pressure service and Other special purpose applications)
[32]	*ПНСТ 488—2020*	*Нефтяная и газовая промышленность Системы подводной добычи. Болтовые соединения из легированной и нержавеющей стали для эксплуатации в условиях высокого давления. Технические условия*

[33] ACTM A194/A194M-23 Стандартные технические условия на гайки из углеродистой стали, легированной стали и нержавеющей стали для болтов для эксплуатации под высоким давлением и/или при высоких температурах (Standard specification for carbon steel, alloy steel and stainless steel nuts for bolts for high pressure or high temperature service, or both)

[34] *ПНСТ 485—2020* *Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Гайки из углеродистой и легированной стали для болтов для эксплуатации в условиях высокого давления и/или высоких температур. Технические условия*

[35] ACTM A320/A320M-22a Стандартные спецификации на крепежные изделия из легированных и нержавеющих сталей для низких температур (Standard specification for alloy-steel and stainless steel bolting for low-temperature service)

[36] *ПНСТ 484—2020* *Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Крепежные изделия из легированной и нержавеющей стали для эксплуатации в условиях низких температур. Технические условия*

[37] ИСО 15614-3:2008 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Испытание процедур сварки. Часть 3. Сварка нелегированного и низколегированного чугуна плавлением (Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 3: Fusion welding of non-alloyed and lowalloyed cast irons)

[38] ИСО 15614-8:2016 Технические требования и аттестация процедур сварки металлических материалов. Проверка процедуры сварки. Часть 8. Приварка труб к соединениям труба-плита (Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 8: Welding of tubes to tube-plate joints)

[39] ASME Правила для котлов и сосудов под давлением, Секция IX (Boiler and pressure vessel code, Section IX)

[40] *ПНСТ 477—2020* *Нефтяная и газовая промышленность Системы подводной добычи. Чистота гидравлических жидкостей. Классификация*

[41] SAE AS4059 Аэрокосмическая гидравлика. Классификация загрязнений гидравлических жидкостей (Aerospace Fluid Power — Cleanliness Classification for Hydraulic Fluids)

[42] API RP 16Q Рекомендуемая практика для проектирования, выбора, эксплуатации и технического обслуживания системы морских буровых райзеров (Recommended Practice for Design, Selection, Operation and Maintenance of Marine Drilling Riser Systems)

[43] ROONEY P.P., ENGEBRETSEN K.B. and PETTERSEN D.J. Жесткие райзеры для платформ типа TLP: Тематическое исследование (TLP rigid riser: A case study, OTC 6435, May 1990)

[44] NIEMI E. (ed). Определение напряжения для анализа усталости сварных деталей, Международный институт сварки (Stress determination for fatigue analysis of welded components, International Institute of Welding, Abington Publishing, Abington, Cambridge 1995)

[45] DNV RP-C203-2014 Анализ усталостной прочности морской стальной конструкции (Fatigue strength analysis of offshore steel structure)

[46] HSE Guidance Руководство по проектированию, строительству и сертификации (Guidance on design, construction and certification)

[47] MADDOX S.J., MACDONALD K.A. and HAAGENSEN P.J. Руководство по расчету усталостной прочности и оценке кольцевых сварных швов трубопровода (Guidance for fatigue design and assessment of pipeline girth welds, International Institute of Welding doc. XIII-1823-2000, May 2000)

[48] Факторы концентрации стресса Петерсона (Petersons's stress concentration factors/Walter D. Pikley. 2nd Edition, 1997, published by John Wiley & Sons, ISBN 0-471-53849-3)

[49] VANDIVER J.K. Безразмерные параметры, важные для прогнозирования вызванной вихрем вибрации длинных гибких цилиндров в океанских течениях (Dimensionless parameters important to the prediction of vortex-induced vibration of long, flexible cylinders in ocean currents, Journal of Fluids and Structures, 7, pp. 423—455, 1993)

[50] PANTAZOPOULOS M.S. Параметры вибрации, вызванной вихрем: критический обзор (Vortex-induced vibration parameters: Critical review. In Proceedings OMAE, 1994)

[51] LARSEN C.M. and HALSE K.H. Сравнение моделей вихревых колебаний тонких морских конструкций (Comparison of models for vortex-induced vibrations of slender marine structures. In Proceedings of the Sixth International Conference on Flow-induced Vibrations, London UK, pp. 467—482, 1995)

[52] Руководство по оценке усталости — морские стальные конструкции (Fatigue Handbook — Offshore Steel Structures. Ed. A. Almar-Næss, Tapir Publishers, Trondheim, 1985)

[53] HAAGENSEN P.J., DRÅGEN A., SLIND T. and ØRJASÆTER O. Прогноз повышения усталостной долговечности сварных соединений за счет шлифовки, аргонодуговой правки, контроля формы шва и дробеструйной обработки. Сталь в морских конструкциях (Prediction of the improvement in fatigue life of welded joints due to grinding, tig dressing, weld shape control and shot peening. Steel in Marine Structures, edited by C. Noorhook and J. deBack, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1987, pp. 669—689)

[54] API Bull 6J Испытания нефтепромысловых эластомеров (Инструкция) (Testing of Oilfield Elastomers (A Tutorial))

УДК 622.276.04:006.354

ОКС 75.020
75.180.10
75.180.99

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, системы подводной добычи, райзер, проектирование, изготовление, испытания

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 23.01.2024. Подписано в печать 14.02.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 25,11. Уч.-изд. л. 22,60.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

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

gost.e-ecolog.ru