

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

---



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р  
XXXXX-  
XXXX  
(проект,  
первая редакция)

---

**Нефтяная и газовая промышленность**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ**

**Часть 17**

**Руководство по вспомогательному  
оборудованию гибких трубопроводов**

*Настоящий проект не подлежит применению до его утверждения*

Москва  
Стандартинформ  
2019

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Газпром 335» (ООО «Газпром 335»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 023 «Нефтяная и газовая промышленность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от \_\_\_\_\_

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона "О стандартизации в Российской Федерации". Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в годовом (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе "Национальные стандарты", а официальный текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемом 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 органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет ([www.gost.ru](http://www.gost.ru)).*

© Стандартиформ оформление, 2019

Настоящий стандарт не может быть 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 Обозначения и сокращения .....	17
5 Общее руководство .....	18
6 Элементы жесткости на изгиб .....	68
7 Ограничители изгиба .....	101
8 Раструбы .....	135
9 Модули плавучести и балластные модули .....	156
10 Подводные буи .....	194
11 Канаты .....	221
12 Основания райзеров и канатов .....	233
13 Общие рекомендации по фиксирующим устройствам .....	250
14 Хомуты подводного буя .....	256
15 Хомуты канатов .....	269
16 Переходные системы .....	290
17 Ремонтные хомуты .....	310
18 Уплотнения I/J-образных труб .....	325
19 Втягивающие головки .....	342
20 Муфты / кабельные чулки .....	347
21 Соединители .....	354
22 Устройства для передачи нагрузок .....	364
23 Механическая защита .....	374
25 Противопожарная защита .....	392
Библиография .....	405

## **Введение**

Создание и развитие отечественных технологий и техники для освоения глубоководных шельфовых нефтегазовых месторождений должно быть обеспечено современными стандартами, устанавливающими требования к проектированию, строительству и эксплуатации систем подводной добычи. Для решения данной задачи Министерством промышленности и торговли Российской Федерации и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии реализуется «Программа по обеспечению нормативной документацией создания отечественной системы подводной добычи для освоения морских нефтегазовых месторождений». В объеме работ программы предусмотрена разработка национальных стандартов и предварительных национальных стандартов областью применения которых являются системы подводной добычи углеводородов.

Целью разработки настоящего национального стандарта является обеспечение безопасности эксплуатации систем подводной добычи за счет установления требований к вспомогательному оборудованию для гибких трубопроводов.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

**Нефтяная и газовая промышленность**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
СИСТЕМ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ**

**Часть 17**

**Руководство по вспомогательному оборудованию  
гибких трубопроводов**

Petroleum and natural gas industry.  
Design and operation of subsea production systems. Part 17.  
Guidelines for flexible pipe ancillary equipment

---

Дата введения – (год-месяц-число)

## **1 Область применения**

Настоящий стандарт распространяется на вспомогательное оборудование для гибких трубопроводов систем подводной добычи, обеспечивающее безопасную эксплуатацию, а также размерную и функциональную взаимозаменяемость.

В настоящем стандарте представлено руководство по проектированию, выбору материалов, анализу, изготовлению, испытаниям, транспортировке, монтажу и управлению вспомогательным оборудованием гибких трубопроводов. Руководство, представленное в настоящем стандарте, дополняют требования ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный стандарт применим к следующему вспомогательному оборудованию для гибких трубопроводов:

- устройствам обеспечения жесткости на изгиб;
- ограничителям изгиба;
- раструбам;
- модулям плавучести и балластным модулям;
- подводным буям;
- кабель-тросам для подводных буюв и хомутам кабель-тросов;
- основаниям стояков и кабель-тросов;

- фиксирующим устройствам;
- переходным хомутам;
- ремонтным хомутам;
- втяжным головкам/средствам установки;
- соединениям;
- устройствам для передачи нагрузки;
- механической защите;
- противопожарной защите.

Настоящий стандарт не распространяется на вспомогательное оборудование гибких труб, находящееся за пределами узла соединения, за исключением оснований стояков и устройств для передачи нагрузки. Таким образом, настоящий стандарт не распространяется на башенные конструкции или I-образные и J-образные трубы. Также настоящий стандарт не применим к устройствам хранения гибких трубопроводов.

Данный стандарт включает требования ко вспомогательному оборудованию, изготовленному из различных материалов, включая металлические, полимерные и композитные. Данный стандарт учитывает отдельные типы материалов, не используемые в настоящее время при производстве компонентов вспомогательного оборудования для шлангокабелей, но применение которых в будущем может стать актуальным.

Настоящий стандарт также применим ко вспомогательному оборудованию для гибких трубопроводов, требования к которому изложены в ГОСТ Р ИСО 13628-2 и в ИСО 13628-11 [1].

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 15.309-98 Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения

ГОСТ 3241-91 Канаты стальные. Технические условия

ГОСТ 5875-77 Механизмы якорные с электрическим и гидравлическим приводом. Типы, основные параметры, технические требования и правила приемки

ГОСТ 15763-2005 Соединения трубопроводов резьбовые и фланцевые на PN (P<sub>y</sub>) до 63 МПа (до ~630 кгс/см<sup>2</sup>). Общие технические условия

ГОСТ 30055-93 Канаты из полимерных материалов и комбинированные. Технические условия

ГОСТ 30188-97 Цепи грузоподъемные калиброванные высокопрочные. Технические условия

ГОСТ ISO 898-1-2014 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 Механические свойства крепежных изделий из углеродистых и легированных сталей. Часть 2: Гайки установленных классов прочности с крупным и мелким шагом резьбы

ГОСТ ISO 3506-1-2014 Механические свойства крепежных изделий из коррозионно-стойкой нержавеющей стали. Часть 1: Болты, винты и шпильки

ГОСТ ISO 3506-2-2014 Механические свойства крепежных изделий из коррозионно-стойкой нержавеющей стали. Часть 2: Гайки

ГОСТ ISO 9554-2013 Канаты из волокон. Общие технические условия

ГОСТ Р 8.568-2017 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 51365-2009 Нефтяная и газовая промышленность. Оборудование для бурения и добычи. Оборудование устья скважины и фонтанное устьевое оборудование. Общие технические требования

ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности

ГОСТ Р 54483-2011 (ИСО 19900:2002) Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования

ГОСТ Р 55430-2013 Соединения трубопроводов разъемные. Оценка технического состояния и методы испытаний. Безопасность эксплуатации

ГОСТ Р 57555-2017 (ИСО 19901-3:2014) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Верхние строения

ГОСТ Р 58283-2018 Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

ГОСТ Р ИСО 13628-2-2013 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

СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения

СП 369.1325800.2017 Платформы морские стационарные. Правила проектирования

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 16. Вспомогательное оборудование для гибких трубопроводов. Технические условия

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования - на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю "Национальные стандарты", который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя "Национальные стандарты" за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), 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 (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **бандаж**: Устройство, которое используется для закрепления механической защиты гибкой трубы.



**3.2 блокировка:** Сцепление вместе отдельных элементов ограничителя изгиба.

**3.3 вкладыш фиксирующий внутренний:** Часть корпуса некоторых зажимов, которая состоит из эластичного прокладочного материала, контактирующего с внешней оболочкой гибкой трубы, что позволяет нивелировать изменения внешнего диаметра гибких труб.

**3.4 вкладыш защитный элемента жесткости на изгиб:** Полимерный рукав, который с внутренней стороны покрывает гнездо для концевой фитинга в прилегающей к концевому фитингу стыковочной конструкции и позволяет избежать контакта между внешней оболочкой гибкой трубы и металлическими частями стыковочной конструкции.

Примечание - Пример защитного вкладыша элемента жесткости на изгиб для определенной конфигурации элемента жесткости на изгиб показан на рисунке 3.1.

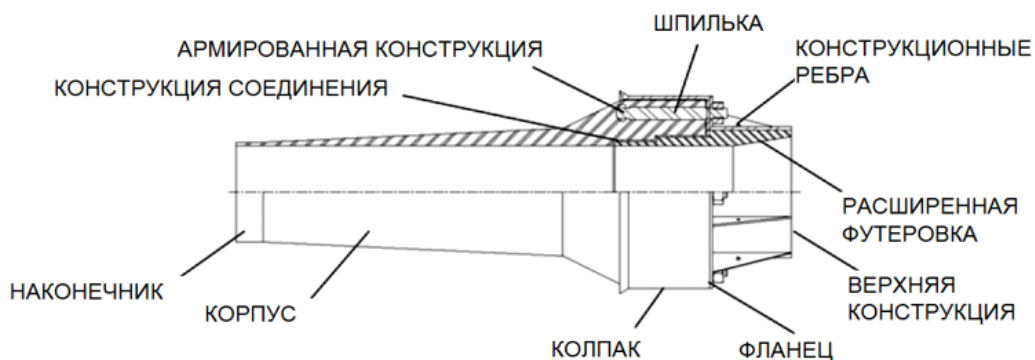


Рисунок 3.1 – Пример элемента жесткости на изгиб для I-образной трубы

**3.5 время усадки:** Время, которое требуется для полимерных или композитных компонентов для усадки в форме до удаления.

**3.6 вымывание:** Удаление или растворение грунта донными течениями.

**3.7 гистерезис:** Поведение гибкой трубы при изгибе, которое характеризуется изменением жесткости при изгибе, наблюдаемым во взаимоотношении момент-кривизна, когда преодолевается трение армирующих слоев гибкой трубы, работающих на растяжение, и доминирующим применительно к жесткости на изгиб становится воздействие полимерных слоев.

Примечание - Когда меняется направление изгиба, вновь появляется высокая жесткость по причине трения, но до того момента, пока она снова не преодолевается. Отношение момент-кривизна подобно упругопластической реакции и, для обычного циклического изгиба, представляет собой замкнутый контур.

**3.8 головка втягиваемая:** Устройство, которое используется в ходе установки гибкой трубы для состыковки концевой фитинга гибкой трубы с протяжным тросом. Состоит из конструкции, которая стыкуется с концевым соединением, и соединительного элемента для подъемного оборудования.

**3.9 желоб:** Часть подводной арочной конструкции, на которую опирается гибкая труба и к которой гибкую трубу можно прикрепить.

**3.10 желоб для забортных операций:** Конструкция арочного типа, которая располагается на краю судна и используется в качестве монтажного элемента для установки гибкой трубы.

**3.11 захват типа «китайский палец»:** Приспособление, которое используется во время установки гибких труб, которое представляет собой ячеистую структуру, обхватывающую внешнюю оболочку гибкой трубы.

Примечание - Ячеистая сетка устанавливается таким образом, что, чем выше нагрузка, накладываемая на нее, тем жестче ее хват.

**3.12 защита механическая:** Слой материала, который закрывает обозначенный отрезок гибкой трубы с целью защитить ее от абразивного износа и ударных нагрузок или же обеспечить промежуток между гибкой трубой и прочими подводными трубопроводами.

**3.13 истирание:** Постепенное удаление материала с поверхности по причине повторяющихся относительных движений с прилегающей поверхностью.

**3.14 колпак элемента жесткости на изгиб:** Структурный компонент некоторых элементов жесткости на изгиб, который представляет собой цилиндрический металлический корпус, охватывающий с внешней стороны часть элемента жесткости на изгиб, прилегающую к основанию элемента жесткости на изгиб.

Примечание. Пример колпака элемента жесткости на изгиб для определенной конфигурации элемента жесткости на изгиб показан на рисунке 1.

**3.15 конструкция опорная:** Конструкция, которая поддерживает и передает нагрузки от гибкой трубы или ограничителя изгиба на платформу, морское дно или на промежуточное соединение.

**3.16 конструкция стыковочная:** Конструкция, которая передает нагрузки от элемента жесткости на изгиб или ограничителя изгиба на прилегающую конструкцию.

**3.17 конструкция стыковочная, прилегающая к концевому фитингу:** Стыковочная конструкция элемента жесткости на изгиб, внутри которой располагается концевой фитинг.

Примечание - Пример конструкции, прилегающей к концевому фитингу, показан на рисунке 3.2.

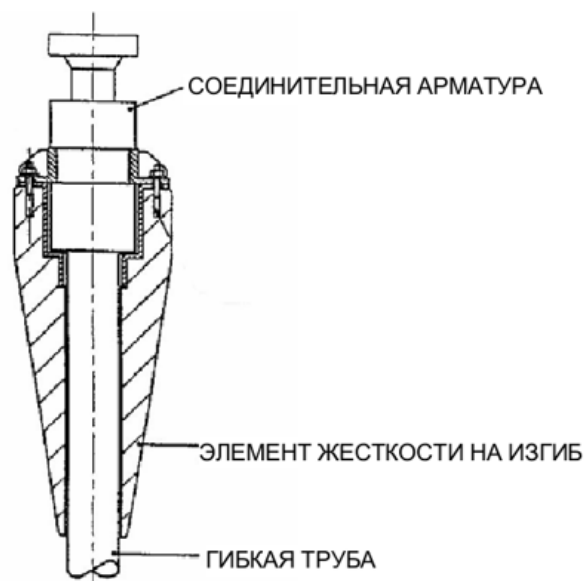


Рисунок 3.2 – Пример конструкции стыковочной элемента жесткости на изгиб, прилегающей к концевому фитингу

**3.18 конструкция стыковочная выносная концевой фитинга:** Стыковочная конструкция элемента жесткости на изгиб, за пределами которой располагается концевой фитинг

Примечание - Пример конструкции стыковочной выносной концевой фитинга

показан на рисунке 3.3.

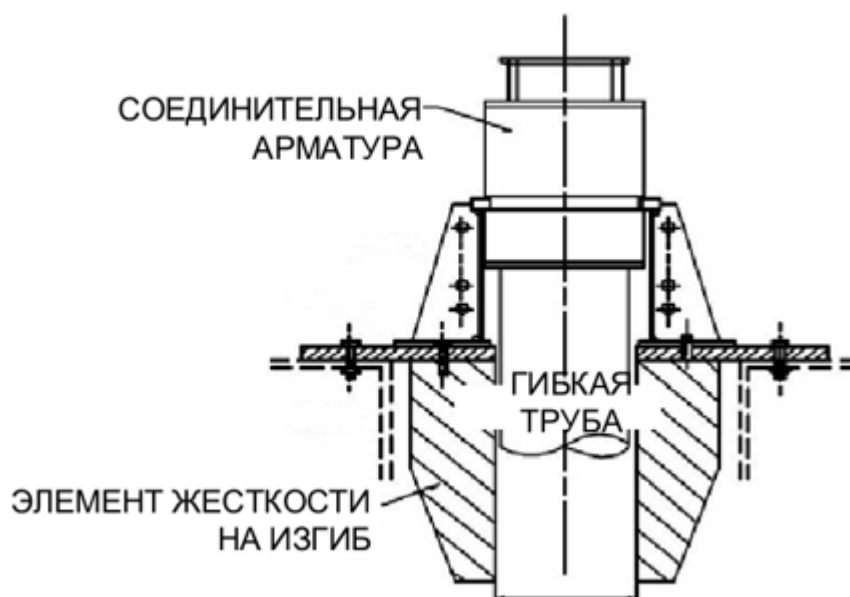


Рисунок 3.3 – Пример конструкции стыковочной выносной концевой фитинга для элемента жесткости на изгиб

3.19 **корпус хомута:** Часть хомута, которая находится в поверхностном контакте с внешней оболочкой гибкой трубы.

3.20 **корпус элемента жесткости на изгиб:** Полимерная часть элемента жесткости на изгиб, которая обеспечивает дополнительную жесткость гибкой трубы, чтобы не допустить ее избыточного изгибания.

Примечание - В колпаках элемента жесткости на изгиб часто размещаются охватываемые части механизма элементов жесткости на изгиб, а в раструбах часто размещается охватывающая часть (корпус элемента жесткости на изгиб для определенной конфигурации элемента жесткости на изгиб показан на рисунке 3.1).

3.21 **макросферы:** Керамические, полимерные или композитные сферы более 1 мм в диаметре, которые образуют структурную часть композитной синтактической пены.

3.22 **материал композитный:** Комбинация полимерного и упрочняющего материала, который повышает характеристики полимера.

**3.23 механизм захвата элемента жесткости на изгиб:** Конструкция или механизм, которые соединяют элемент жесткости на изгиб с опорной конструкцией, что позволяет передавать изгиб с элемента жесткости на изгиб на опорную конструкцию.

**3.24 микросферы:** Керамические, полимерные или композитные сферы от 1  $\mu\text{m}$  и до 1000  $\mu\text{m}$  в диаметре, которые образуют структурную часть синтактической и композитной пены.

**3.25 модуль балластный:** Компонент с отрицательной плавучестью. Несколько таких компонентов используются в отдельных точках на отрезках гибкой трубы для придания дополнительного веса.

**3.26 модуль плавучести:** Отдельный компонент, который состоит из элемента плавучести, внутреннего зажима и всех необходимых крепежей, которые удерживают данные компоненты. Модуль используется для обеспечения подъемной силы для гибких труб путем прикрепления нескольких таких компонентов по всей длине трубы.

**3.27 модуль секущий:** Наклон линии, проведенной через начальную точку кривой напряжения-деформации и пересекающей точку на кривой напряжения-деформации, которая соответствует указанному напряжению.

**3.28 муфта переходная с внутренней резьбой:** Стыковочная конструкция, соединяющая элементы гибких труб и имеющая внутреннюю резьбу.

**3.29 муфта переходная с наружной резьбой:** Стыковочная конструкция, соединяющая элементы гибких труб и имеющая наружную резьбу.

**3.30 муфта реактивная:** Стыковочная конструкция ограничителя изгиба, включающая разъемный кожух, который крепится зажимом вокруг концевой фитинга гибкой трубы.

**3.31 нагрузка мгновенная:** Внезапная нагрузка, которая действует на ослабленный трос, что приводит к динамическому усилию, которое в несколько раз может превышать допустимое напряжение на растяжение.

3.32 **нагрузка случайная:** Нагрузка, вызванная случайным происшествием.

3.33 **нагрузки от воздействия окружающей среды:** Нагрузка, вызванная внешними параметрами окружающей среды.

3.34 **нагрузки функциональные:** Все нагрузки на вспомогательное оборудование во время эксплуатации.

3.35 **наконечник элемента жесткости на изгиб:** Конец корпуса элемента жесткости на изгиб, противоположный основанию.

Примечание - Пример наконечника элемента жесткости на изгиб для определенной конфигурации элемента жесткости на изгиб показан на рисунке 3.1.

3.36 **направляющая связки трубной:** Проставка в системе трубной связки, которая крепится при помощи зажима на опорной трубе и позволяет поддерживаемой трубе совершать относительные перемещения.

3.37 **оборудование вспомогательное:** Компонент, который крепится к гибкой трубе с целью выполнения одной из следующих функций или более:

- управление поведением гибкой трубы;
- обеспечение структурного перехода между гибкой трубой и прилегающими конструкциями;
- крепеж других конструкций к гибкой трубе;
- обеспечение герметичности по всей длине гибкой трубы.

3.38 **оборудование вспомогательное постоянное:** Вспомогательное оборудование, которое должно использоваться в течение всего срока службы гибкой трубы.

3.39 **ограничитель изгиба:** Механическое устройство ограничения изгиба, функционирующее как механический стопор и ограничивающее локальный радиус изгиба гибкой трубы до его минимального значения.

3.40 **ограничитель изгиба гибридный:** Ограничитель изгиба с комбинацией полимерных и металлических элементов.

3.41 **ограничитель изгиба динамический:** Ограничитель изгиба, который не задает фиксированное значение угла изгиба трубопровода, а ограничивает угол изгиба в определенном диапазоне, воспринимая изменяющиеся воздействия окружающей среды.

3.42 **ограничитель изгиба статический:** Ограничитель изгиба, который задает фиксированное значение угла изгиба трубопровода.

3.43 **опора установочная:** Поворотная площадка укладки гибких труб, подводимая барабанами или конвейерной системой карусельного типа, угол которой, по отношению к вертикали, можно отрегулировать.

3.44 **основание тросовое:** Конструкция, которая прикрепляет один или группу тросов к морскому дну, включая точки крепления тросов и такелажные узлы.

3.45 **основание райзерное:** Конструкция, располагающаяся на морском дне, которая используется для обеспечения герметичного соединения между гибким райзером и трубопроводом.

Примечание - Основание райзерное может быть окончательным устройством трубопровода или манифольдом (PLET или PLEM).

3.46 **основание элемента жесткости на изгиб:** Лицевая сторона стыковочной конструкции со стороны опорной конструкции, от которой начинается элемент жесткости на изгиб.

3.47 **основание якорное:** Конструкция, которая используется для закрепления одного конца троса на морском дне.

3.48 **отрезок верхний:** Отрезок гибкой трубы между платформой и подводным бумом.

3.49 **отрезок нижний:** Отрезок гибкой трубы между райзерным основанием и подводным бумом.

3.50 **пена композитная синтактическая:** Композитный материал, состоящий из полимерной матрицы, содержащей как микросферы, так и макросферы.

3.51 **пена распыленная:** Полимерная пена, которая не содержит микросфер или макросфер.

3.52 **пена синтактическая:** Композитный материал, состоящий из полимерной матрицы, содержащей только микросферы.

3.53 **плавучесть высокая:** Плавучий участок гибкой трубы с относительно высокой чистой плавучестью на единицу длины.

3.54 **плавучесть начальная чистая:** Чистая плавучесть до погружения в морскую воду.

3.55 **плавучесть низкая:** Плавучий участок гибкой трубы с относительно низкой чистой плавучестью на единицу длины.

3.56 **плавучесть окончательная чистая:** Чистая плавучесть в конце срока службы.

3.57 **плавучесть чистая:** Плавучесть, которая получается с учетом всех компонентов подводного буя или модуля плавучести.

3.58 **рама буя подводного:** Структурная часть подводного буя. Включает желоба, места крепления для зажимов и цистерны либо элементы плавучести, а также точки соединения с аппаратными средствами канатов.

3.59 **радиус блокировки нагруженный:** Радиус ограничителя изгиба во время блокировки под действием нагрузки.

3.60 **радиус блокировки свободный:** Радиус ограничителя изгиба во время блокировки без приложенной нагрузки.

3.61 **радиус изгиба:** Радиус наибольшей кривизны от осевой линии трубы до точки, являющейся центром вращения.

3.62 **раструб:** Часть направляющей трубы в форме расширения, предназначенная для предупреждения перегибов гибкой трубы.

3.63 **ремонт мокрый:** Ремонт гибкой трубы без извлечения из воды.



3.64 **ремонт сухой:** Ремонт гибкой трубы, которая была извлечена из воды.

3.65 **система труб гибких:** Это система для передачи жидкостей, в которой гибкая труба (трубы) является основным компонентом и которая включает вспомогательные компоненты, которые напрямую или косвенно присоединены к трубе.

3.66 **соединение верхнее:** Соединение между концевым фитингом гибкой трубы и платформой.

3.67 **соединение гибкого райзера с основанием:** Часть основания райзера, которая образует переход между концевым фитингом гибкой трубы и конструкцией райзерного основания.

3.68 **соединение донное:** Соединение между концевым фитингом райзера и райзерным основанием.

3.69 **соединитель:** Устройство, которое используется для обеспечения герметичного структурного соединения между концевым фитингом и прилегающими трубами.

Примечание - Соединитель не включает концевые фитинги гибких трубопроводов.

3.70 **старение окислительное:** Ухудшение характеристик материала с течением времени по причине подверженности воздействию кислорода, которое вызвано изменениями на молекулярном уровне.

3.71 **старение термальное:** Ухудшение характеристик материала с течением времени из-за воздействия температуры, которое вызвано изменениями на молекулярном уровне.

3.72 **старение химическое:** Ухудшение характеристик материала с течением времени по причине подверженности воздействию химикатов, которое вызвано изменениями на молекулярном уровне.

3.73 **стойкость к смятию:** Максимальная локализованная сдавливающая нагрузка, которую может выдержать гибкая труба.

3.74 **строп**: Несущая нагрузку конструкция, которая образует переход между рамой подводного буга и его канатами.

3.75 **стык**: Конечная часть, обычно формируемая петлей каната вокруг катушки или подобных средств крепления, разделяющих канат на пряди или группы и после группирова такие пряди опять в структуру каната.

3.76 **температура деформации тепловой**: Температура, при которой начинается изменение формы стандартного образца под нагрузкой.

3.77 **точка подъема**: Точка соединения на конструкции, которая используется для стыковки с подъемным оборудованием.

3.78 **канат**: грузонесущее витое или крученое из синтетических, или стальных, или смешанных прядей, которое используются для соединения гибкой трубы или подводного буга с тросовым основанием, включая соединительные приспособления на концах.

3.79 **труба гибкая**: Совокупность тела трубы и концевых фитингов, где тело трубы состоит из композиционного многослойного материала, образующего контур, работающий под давлением, а конструкция трубы обеспечивает значительные углы изгиба без существенного увеличения изгибающих напряжений.

Примечание - Обычно тело трубы формируют из композиционного материала, состоящего из металлических и полимерных слоев.

3.80 **труба опорная**: Труба, которая поддерживает одну или несколько труб при помощи комплекта зажимов трубной связки или направляющих на протяжении указанной длины.

Примечание - Труба опорная может быть гибкой трубой.

3.81 **труба поддерживаемая**: Труба, которая крепится к опорной трубе при помощи комплекта зажимов трубной связки на протяжении указанной длины.

Примечание - Труба поддерживаемая может быть гибкой трубой.

**3.82 удар термический:** Подверженность резким температурным изменениям в течение короткого периода времени.

**3.83 уплотнение I/J-образных труб:** Приспособление, которое устанавливается вокруг гибкой трубы и используется для обеспечения герметичного уплотнения в I/J-образной трубе в целях сдерживания внутри жидкости, препятствующей коррозии.

**3.84 уплотнение I/J-образных труб, устанавливаемое без помощи водолазов:** Уплотнение I/J-образных труб, для установки которого не требуется привлечение водолазов.

Примечание - Уплотнение устанавливается путем его втягивания в I/J-образную трубу. Зажимное устройство сопротивляется втягивающим силам.

**3.85 уплотнение I/J-образных труб, устанавливаемое с помощью водолазов:** Уплотнение I/J-образных труб, для установки которого необходимо привлечение водолазов.

Примечание - Может включать в себя зажимное устройство.

**3.86 устройство обеспечения жесткости на изгиб:** Вспомогательный компонент конической формы, который локально поддерживает трубу для ограничения величины изгибающих напряжений и изгиба трубы до допустимых значений.

Примечание. Гибкая труба проходит через устройства обеспечения жесткости на изгиб, закрепляемые на концевом фитинге или на опорной конструкции.

**3.87 устройство ограничения изгиба:** Устройство, используемое для ограничения изгиба гибкой трубы.

Примечание - К устройствам ограничения изгиба относятся ограничители изгиба, устройства обеспечения жесткости на изгиб и раструбы.

**3.88 устройство передачи нагрузки:** Устройство, которое используется для передачи нагрузок от концевого фитинга гибкой трубы или стыковочной конструкции

ограничителя изгиба на верхние конструкции, но не предназначено для работы под давлением.

**3.89 фитинг концевой:** Механическое устройство, формирующее переход между телом гибкой трубы и соединителем, в котором заделывают все трубные слои таким образом, чтобы обеспечить передачу нагрузок между гибкой трубой и соединителем.

**3.90 фланец реактивный:** Стыковочная конструкция ограничителя изгиба, включающая разъемный фланец, который напрямую крепится болтами к опорной конструкции, над которой собирается элемент ограничителя изгиба.

**3.91 хомут зажима внутреннего:** Часть некоторых модулей плавучести, которые прикрепляют внутренний корпус зажима к гибкой трубе.

Примечание - Хомут внутреннего зажима располагается в пределах внутренней части элемента плавучести.

**3.92 хомут ремонтный:** Хомут, который располагается над поврежденным участком гибкой трубы в качестве средства ремонта такого участка

**3.93 хомут связки трубной:** Проставка в системе трубной связки, которая крепится при помощи зажимов на опорной и поддерживаемой трубах и не позволяет поддерживаемой трубе совершать относительные перемещения.

**3.94 цистерна плавучести:** Часть некоторых подводных буюв, которая состоит из сосуда высокого давления, заполненного газом под давлением, равном или превышающем давление окружающей среды, который обеспечивает подъемную силу для подводного бую.

**3.95 элемент жесткости на изгиб временный:** Элемент жесткости на изгиб, который требуется для временного удовлетворения функциональных потребностей установленных гибких труб, транспортировки и погрузки или прочей деятельности, но не для эксплуатации.

**3.96 элемент жесткости на изгиб для I-образной трубы:** Элемент жесткости на изгиб, прикрепляется к верхнему соединению гибкой трубы, которая свешивается с судна/платформы через I-образную трубу.

*Примечание* - Пример элемента жесткости на изгиб I-образной трубы показан на рисунке 3.1.

**3.97 элемент жесткости на изгиб постоянный:** Элемент жесткости на изгиб, который должен использоваться в течение всего срока службы гибкой трубы.

**3.98 элемент жесткости на изгиб промежуточный:** Элемент жесткости на изгиб, расположенный в некоторой промежуточной точке, кроме верхнего соединения и донного соединения.

**3.99 элемент модульный:** Часть модуля плавучести или балластного модуля, который придает выталкивающую силу или же добавляет вес модулю

**3.100 элемент ограничителя изгиба:** Составная часть ограничителя изгиба. Несколько частей состыковываются вместе по длине и образуют целый ограничитель изгиба.

**3.101 элемент плавучести:** Часть модуля плавучести или некоторое количество подводных буюв, которые обеспечивают модулю или бую выталкивающую силу.

*Примечание* - Элемент плавучести включает в себя плавучий материал, который может иметь защитный внешний слой. Он не включает цистерны плавучести.

**3.102 элемент уплотнительный:** Часть уплотнения I/J-образной трубы, которая обеспечивает уплотнение.

## **4 Обозначения и сокращения**

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

$C_a$  – допустимый коэффициент напряжений;

$C_f$  – коэффициент проектного варианта;

$M$  – момент изгиба;

$F_S$  – сила сдвига;

$\sigma_b$  – напряжение при изгибе;

$\sigma_p$  – мембранное напряжение;

$\sigma_q$  – вторичное напряжение;

$(\sigma_x)_e$  – компонент Фона Мизеса для напряжения  $\sigma_x$ ;

ЗИП – запасные инструменты и приспособления;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

ПСИ – приемо-сдаточные испытания;

СВМПЭ – сверхвысокомолекулярный полиэтилен;

ТНПА – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат;

УФ – ультрафиолет;

ЧПУ – числовое программное управление;

## **5 Общее руководство**

### **5.1 Введение**

Все вспомогательное оборудование гибких трубопроводов должно соответствовать руководствам, изложенным в разделе 5. Фиксирующие устройства (хомуты модуля плавучести, хомуты подводных буюв, хомуты кабель-тросов, переходные хомуты и направляющие, ремонтные хомуты и уплотнения I/J-образных труб с хомутами) должны соответствовать разделу 13. Специальное вспомогательное оборудование должно соответствовать последующим пунктам и далее.

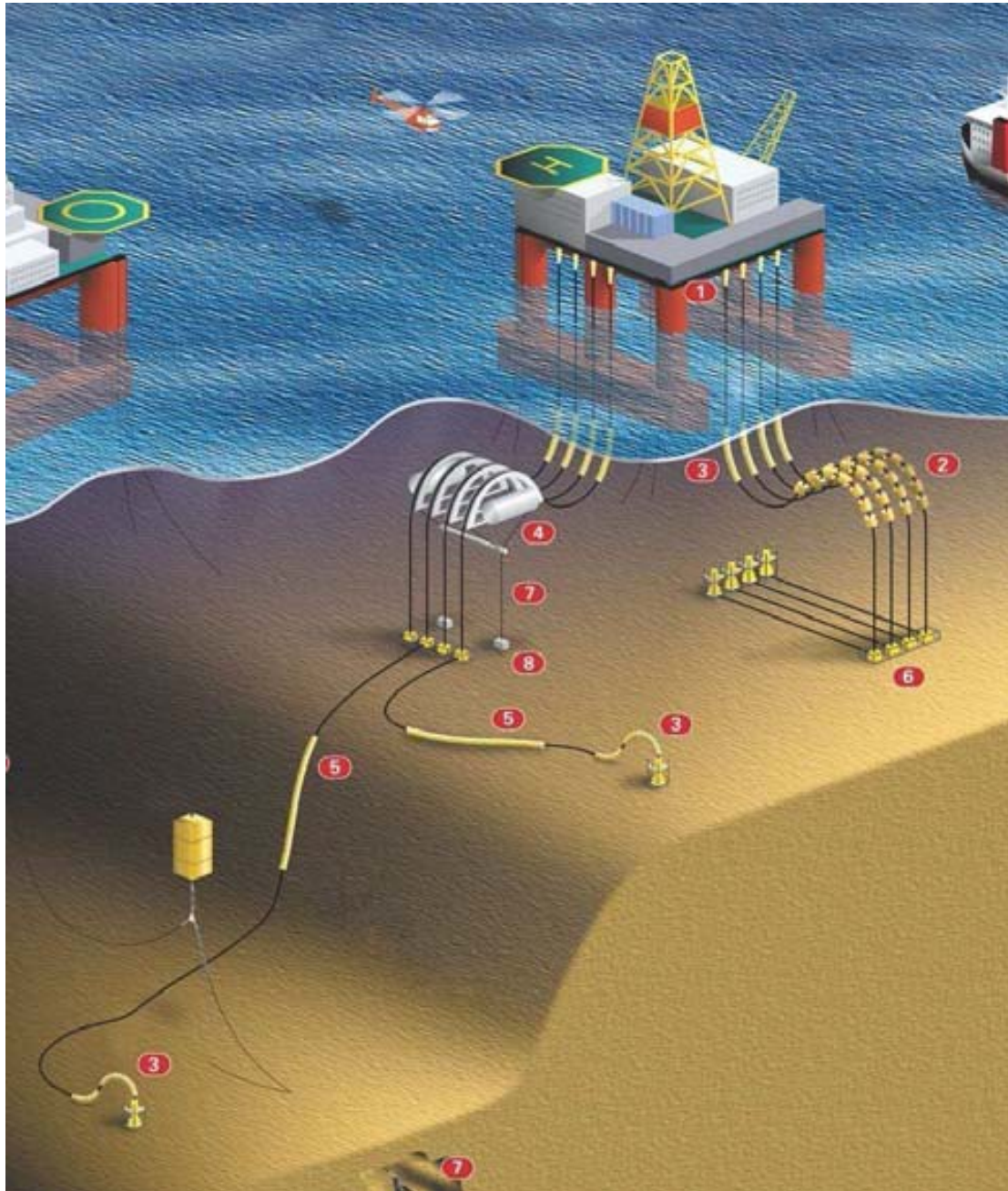
Все аспекты технологии вспомогательного оборудования, от функционального определения до монтажа, рассматриваются в настоящем стандарте и в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

### **5.2 Описание вспомогательного оборудования**

#### **5.2.1 Размещение элементов в системе гибких трубопроводов**

На рисунке 5.1 показано расположение вспомогательного оборудования в системе гибких трубопроводов, т.е. типичное общее расположение элементов жесткости на изгиб, модулей плавучести, ограничителей изгиба, подводных буюв, защиты от истирания и ударов, райзерных оснований, канатов подводных буюв и

основания канатов подводных буюв.



1 – элемент жесткости на изгиб; 2 – модуль плавучести; 3 – ограничитель изгиба; 4 – подводный буй; 5 – защита от истирания; 6 – райзерное основание; 7 – трос подводного буя; 8 – якорное основание тросов подводного буя

Рисунок 5.1 – Расположение вспомогательного оборудования в системе гибких трубопроводов

### 5.2.2 Элементы жесткости на изгиб

Элементы жесткости на изгиб используются для защиты гибкой

трубы/подводных кабелей от изгиба свыше допустимых пределов и увеличения их усталостных характеристик путем снижения изменений кривизны на компонентах, важных с точки зрения усталости. Элементы жесткости на изгиб часто используются для обеспечения защиты гибкой трубы при динамичном применении. Элементы жесткости на изгиб также могут использоваться при статическом применении, например, обеспечение защиты гибкой трубы во время установки. Они могут крепиться к гибкой трубе либо на верхнем соединении, либо на промежуточном соединении, или на соединении с морским дном. Они состоят из конической секции из полимерного материала с цилиндрическим отверстием, для прохода гибкой трубы. Примеры типичных элементов жесткости на изгиб показаны на рисунке 5.2 и рисунке 5.3. Элемент жесткости на изгиб крепится к прилегающим конструкциям с помощью металлической соединительной конструкции, как показано на рисунках 5.2 и 5.3, которая вдавлена в полимер, и обычно крепится болтами. Также предлагаются элементы жесткости на изгиб с армированной волокном конической секцией.



Рисунок 5.2 – Элемент жесткости на изгиб (усеченный конус)

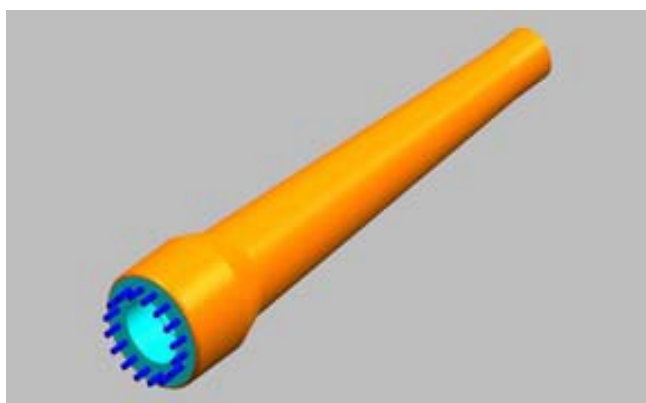


Рисунок 5.3 – Элемент жесткости на изгиб (усеченный конус с цилиндрическим



основанием)

### 5.2.3 Ограничители изгиба

5.2.3.1 Ограничители изгиба предназначены для предотвращения изгиба гибких труб/подводных кабелей выше предварительно определенных пороговых значений. Ограничители изгиба могут использоваться для поддержки гибких труб в пролетах (там, где есть вероятность повреждения конструкции трубы из-за чрезмерного изгиба), устьевой обвязки, соединениях конечных устройств трубопроводов, выходах J-образных труб, жестких переходниках труб и на подводных буйах (см. рисунок 5.19). Применение для выхода J-образной трубы показано на рисунке 5.4. Ограничители изгиба также могут использоваться для предотвращения чрезмерного изгиба во время установки (см. рисунок 5.5).

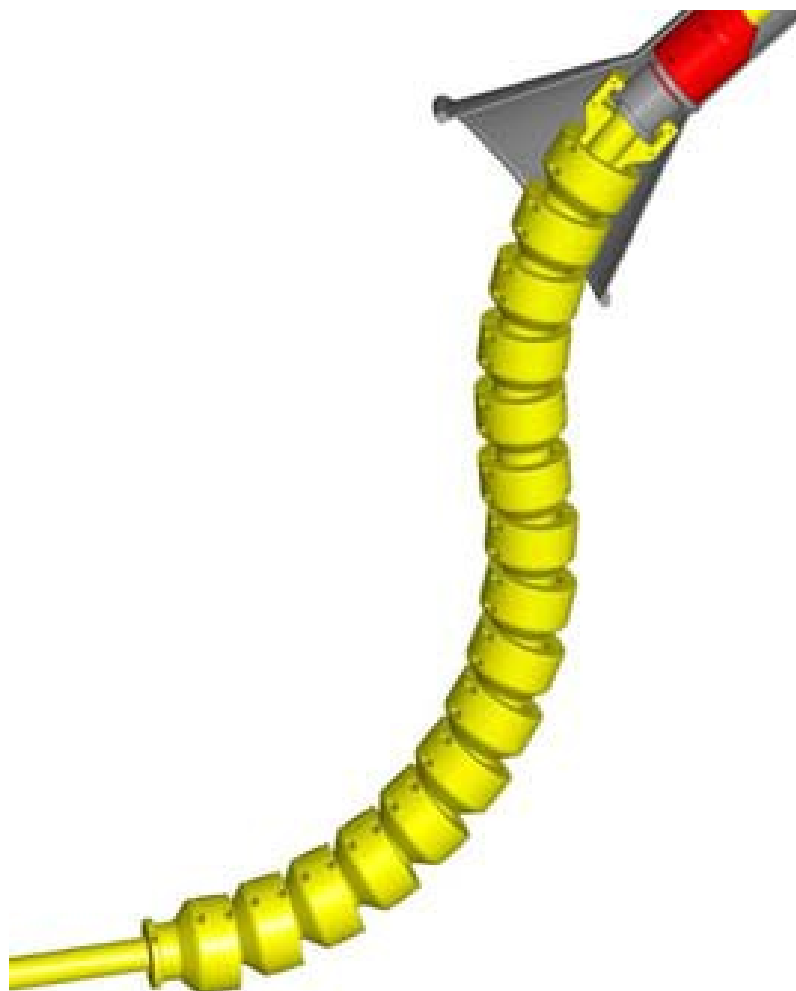


Рисунок 5.4 – Ограничитель изгиба J-образного трубопровода

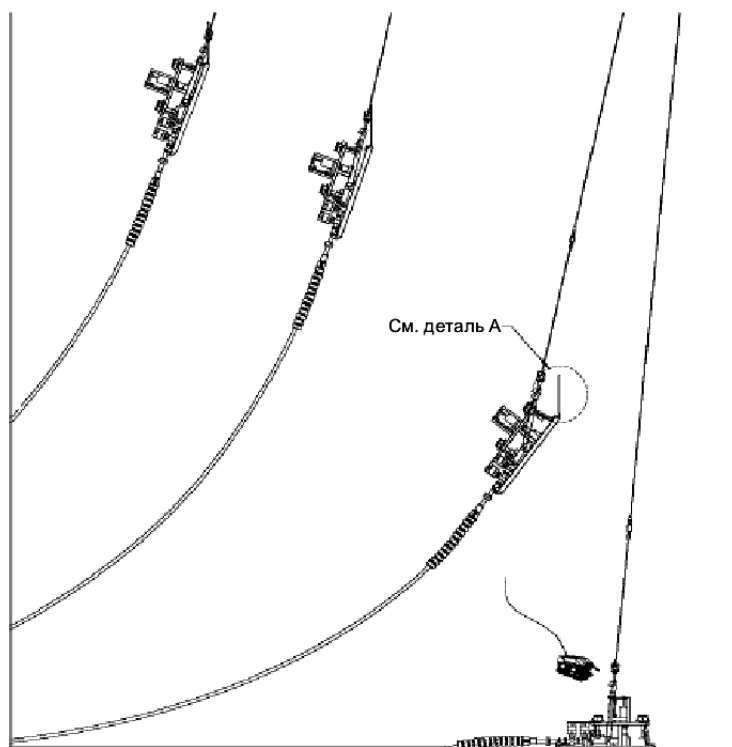


Рисунок 5.5 – Ограничитель изгиба

5.2.3.2 В отличие от элементов жесткости на изгиб, ограничители изгиба обеспечивают защиту после того, как гибкая труба достигнет определенного радиуса изгиба. Ограничитель изгиба обычно состоит из замыкающих элементов, которые устанавливаются вокруг гибкой трубы. Пример расстановки элементов показан на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 – Конфигурация элемента ограничителя изгиба

Такие элементы не ограничивают сгибание трубы до достижения определенного радиуса изгиба, при котором элементы производят замыкание между собой. Типичный полимерный ограничитель изгиба показан на рисунке 5.7.



Рисунок 5.7 – Ограничитель изгиба

Замыкание элементов ограничителя изгиба предотвращает дальнейшее сгибание трубы, дополнительные нагрузки при этом несет ограничитель изгиба. Нагрузки передаются примыкающей конструкции с помощью конструкции соединения, которая соединяется с самым дальним элементом. Элементы ограничителя изгиба могут включать в себя полимерные полуобечайки, которые соединяются друг с другом болтами, как показано на рисунке 5.8, или секции металлической трубы или обработанные металлические компоненты.

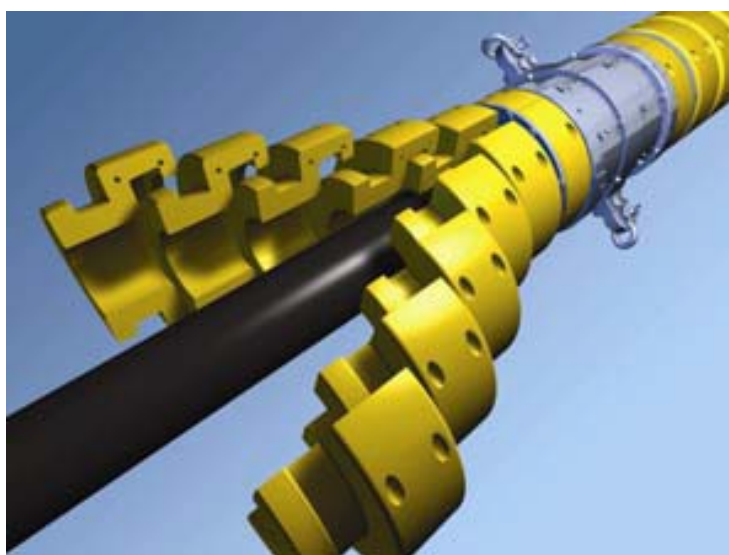


Рисунок 5.8 – Ограничитель изгиба с замыкающими элементами

#### 5.2.4 Раструбы

5.2.4.1 Так же, как и элементы жесткости на изгиб и ограничители изгиба, раструбы защищают гибкие трубы от сгибания до допустимых значений. Раструб состоит из тонкостенной трубы, которая выравнивается в конусообразном профиле на конце, как показано на рисунке 5.9.

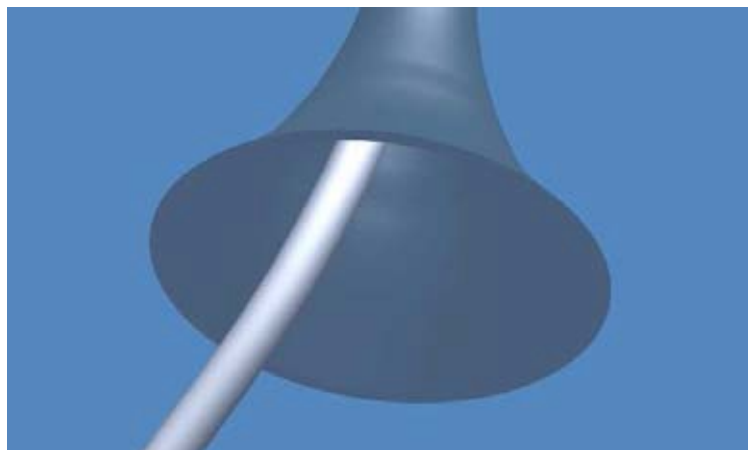


Рисунок 5.9 – Раструб с цилиндрическим выходом

Гибкая труба выходит из раструба, а конусообразный профиль предотвращает сгибание гибкой трубы менее определенного радиуса в пределах углового диапазона. Профиль не должен быть осесимметричный из-за пространственных ограничений, и у него не должно быть цилиндрического выхода. Раструбы могут быть металлическими или композитными. Металлический раструб обладает преимуществом, поскольку сопротивляется намного большим температурам, чем полимерные или композитные ограничители изгиба. В металлическом раструбе внутренняя поверхность обычно покрывается полимерным слоем, чтобы предотвратить изнашивание гибкой трубы. Недостатком раструба по сравнению с элементом жесткости на изгиб может быть возможное чрезмерно большое физическое пространство, необходимое для размещения раструба. Также, если движения судна достаточно большие, столкновение с внутренней частью раструба могут вызвать повреждения гибкой трубы.

#### 5.2.5 Модули плавучести

Модули плавучести используются для получения конфигурации гибкого трубопровода в форме волны [плавная (рисунок 5.10), крутая (рисунок 5.11), гибкая (рисунок 5.23) и W-образная волна (рисунки 5.12 и 5.19)].

ПЛАВНАЯ ВОЛНА

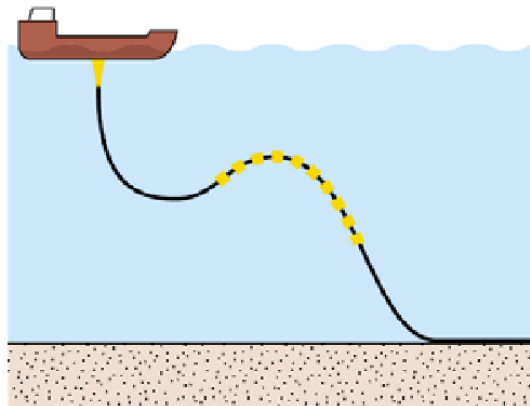


Рисунок 5.10 – Конфигурация гибкого трубопровода в виде плавной волны

КРУТАЯ ВОЛНА

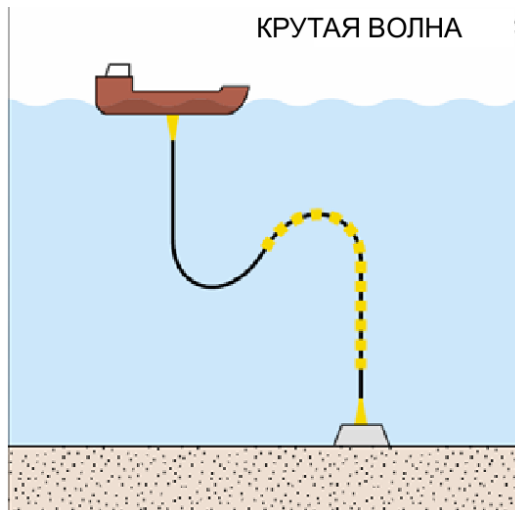


Рисунок 5.11 – Конфигурация гибкого трубопровода в виде крутой волны

W-ОБРАЗНАЯ ВОЛНА

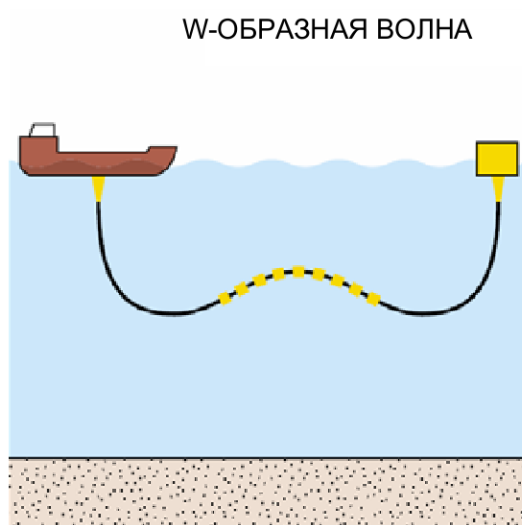


Рисунок 5.12 – Конфигурация гибкого трубопровода в виде W-образной волны

Требуется большое количество модулей, разделенных через промежутки вдоль гибкой трубы, чтобы получить конфигурацию волны. Модули плавучести обычно состоят из двух компонентов: внутренний хомут и синтактический элемент плавучести или элемент плавучести из композитной синтактической пены, как показано на рисунке 13, а). Пример внутреннего хомута в приближении показан на рисунке 13 б).

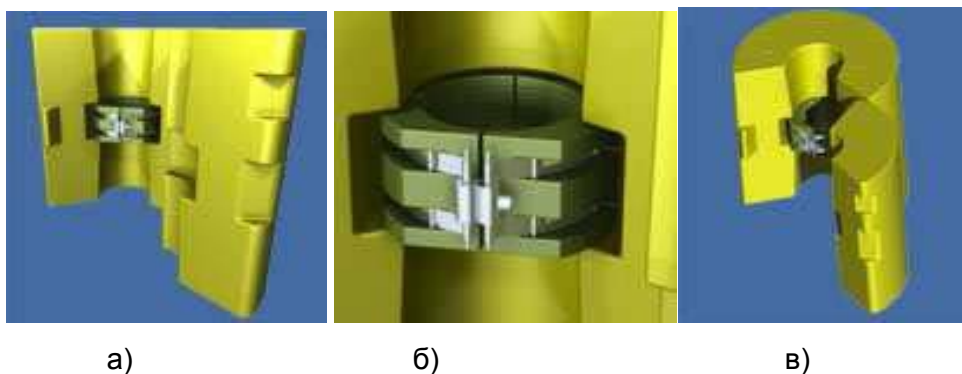


Рисунок 5.13 – Конфигурация подвесного модуля плавучести. Пример

Полимерная внешняя оболочка обеспечивает сопротивление ударам и истиранию. Внутренний хомут крепится к гибкой трубе, а элемент плавучести устанавливается на хомуте с помощью гнезд, сделанных внутри элемента плавучести. Для фиксации внутреннего хомута к гибкой трубе используется внутренний гибкий хомут. Внутренний гибкий хомут может быть выполнен из титана и/или арамидного волоконного композита. Элементы плавучести могут быть выполнены в виде двух половин, которые крепятся друг к другу вокруг хомута с помощью болтов или внешней обвязкой. Как вариант, предусматриваются конструкции в виде подвесного модуля, который зажимается на внутреннем хомуте и фиксируется отдельным замыкающим штифтом 5.13 в). Форма модулей плавучести в основном цилиндрическая, но установка или другие ограничения могут потребовать прямоугольной формы. На рисунке 5.14 показан пример цилиндрического модуля плавучести, прикрепленного к гибкой трубе внешней обвязкой.



Рисунок 5.14 – Модули плавучести с внешней обвязкой

Некоторые гибкие трубы со связующими слоями имеют встроенные эластомерные буртики через промежутки вдоль трубы, чтобы облегчить крепление вспомогательных устройств. Такие буртики обычно делаются и сгибаются вместе с трубой.

#### 5.2.6 Балластные модули

В определенных обстоятельствах желательно увеличивать вес гибкой трубы в определенных зонах, чтобы улучшить ее поведение. Чтобы достичь этого, к трубе крепятся балластные модули, которые эффективно противодействуют модулям плавучести.

#### 5.2.7 Подводные буи

5.2.7.1 Системы подводных буев используются для получения S-образных конфигураций райзера, включая плавные (рисунок 5.15), крутые (рисунок 5.16) и обратные конфигурации (необходимо отметить, что при обратных конфигурациях нижняя провеса райзера уходит под низ буя).

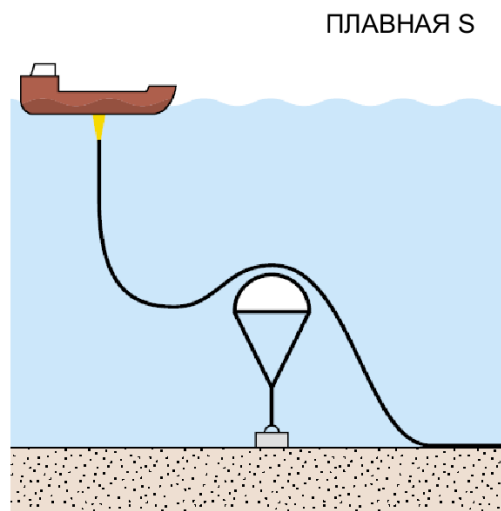


Рисунок 5.15 – Плавная S-конфигурация гибкого трубопровода

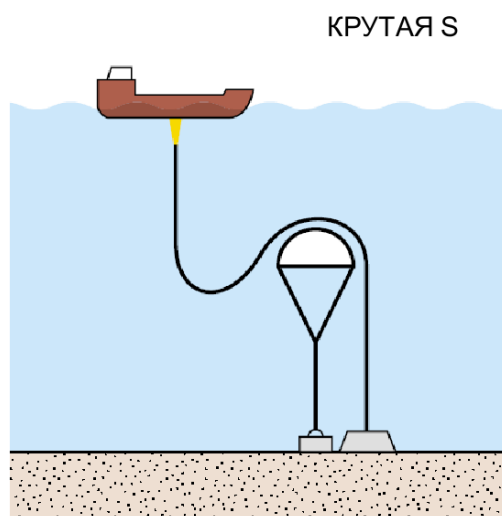


Рисунок 5.16 – Крутая S-конфигурация гибкого трубопровода

Целью подводного буя является обеспечение выталкивания, продольного крепления и направления поддерживаемых гибких трубопроводов. Подводные буи обычно состоят из плавучих емкостей или элементов плавучести, поддерживаемых металлической конструкцией, на которых размещаются отдельные желоба для каждой гибкой трубы. Плавучесть может быть обеспечена плавучими емкостями или твердыми элементами плавучести. Плавучие емкости могут производиться из металлических или композитных материалов, и давление в них может нагнетаться инертным газом. Элементы плавучести делаются из продувной или синтактической пены. Гибкие трубы могут устанавливаться в желоба с помощью хомутов. Система подводных буйев удерживается на месте основанием кабель-тросов, к которой она крепится кабель-тросами (плавная S) или гибкими трубами (крутая S). S-образная конфигурация стояка может быть получена, как вариант, с помощью фиксированной опоры, а не плавающим буем. Главный недостаток такой системы - это снижение податливости системы стояка.

5.2.7.2 Пример подводного буя с элементами плавучести дан на рисунке 5.17 с арочными желобами сверху подводного буя, элементами плавучести и цепными кабель-тросами. Примеры подводного буя с плавучими емкостями показаны на рисунке 5.18 и рисунке 5.19.



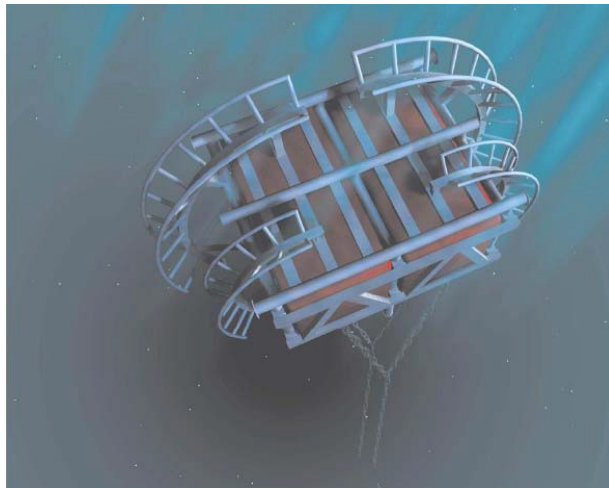


Рисунок 5.17 – Буй подводный с элементами плавучести

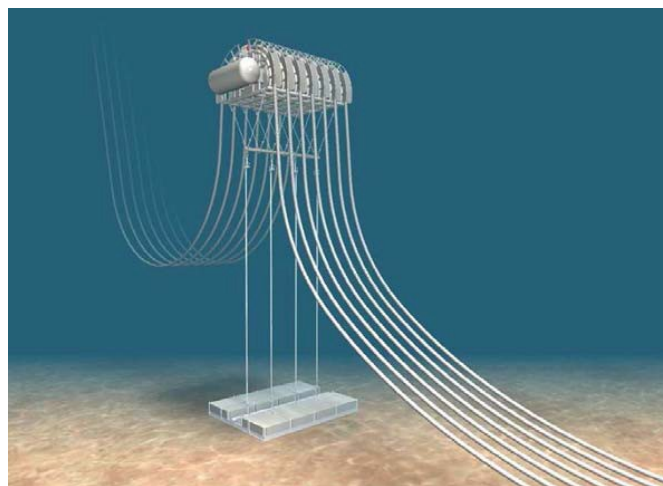


Рисунок 5.18 – Буй подводный с емкостями плавучести, с подвеской



Рисунок 5.19 – Буй подводный с емкостями плавучести, с желобами

На рисунке 5.18 показано основание кабель-тросов на морском дне и промежуточное V-образное соединение, называемое подвеской, которое соединяет кабель-тросы с основной конструкцией подводного буя. На рисунке 5.19 показаны три хомута сверху подводного буя, а также желоба.

#### 5.2.8 Канаты

Канаты используются для удержания подводных буйев на месте или для фиксации гибкой трубы на морском дне при определенных конфигурациях гибкой трубы, например, конфигурации гибкой волны. Кабель-тросы могут быть сделаны из цепи, проволочного троса или синтетического волокна. Применение канатов показано на рисунках 5.7, 5.18 и 5.20.

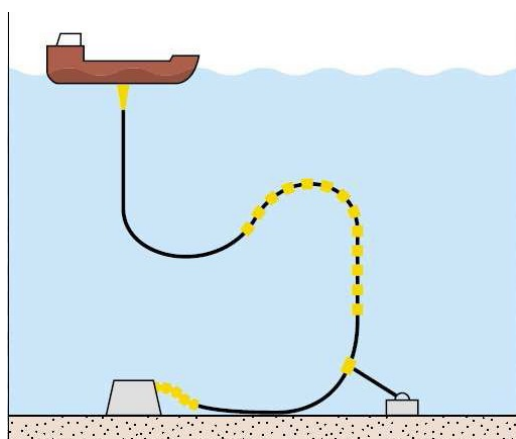


Рисунок 5.20 – Общий вид хомута каната

#### 5.2.9 Райзерные основания

Основания райзерные используются для соединения гибких трубопроводов с подводными трубопроводами, а также они могут потребоваться для поддержания системы подводных буйев/арок (например, крутая-S конфигурация). Основание райзерное может быть гравитационной конструкцией, свайной конструкцией или присосом/якорным основанием. Выбор гравитационной или свайной конструкции зависит от прилагаемых нагрузок и состояния дна. Как вариант, гибкая труба может соединяться непосредственно с устройством окончным трубопровода или манифольдом подводного трубопровода. В этом случае устройство окончное трубопровода или манифольд подводного трубопровода действуют как основание райзерное. Общие виды райзерного основания и райзерного основания окончного устройства трубопровода представлены на рисунках 5.21 и 5.22.

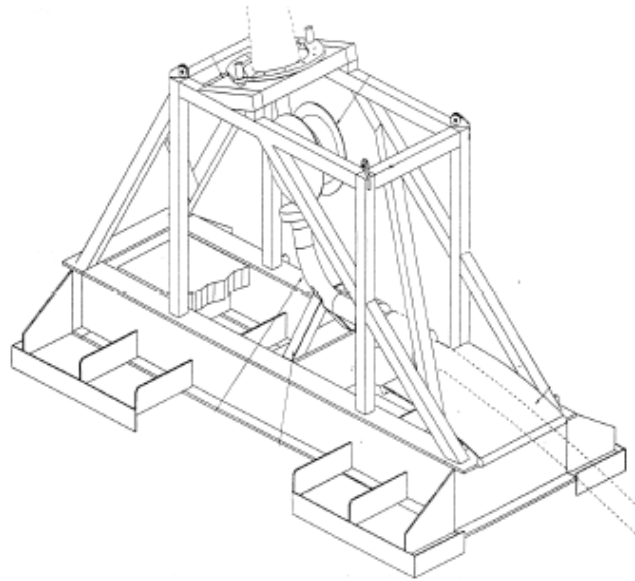


Рисунок 5.21 – Общий вид райзерного основания

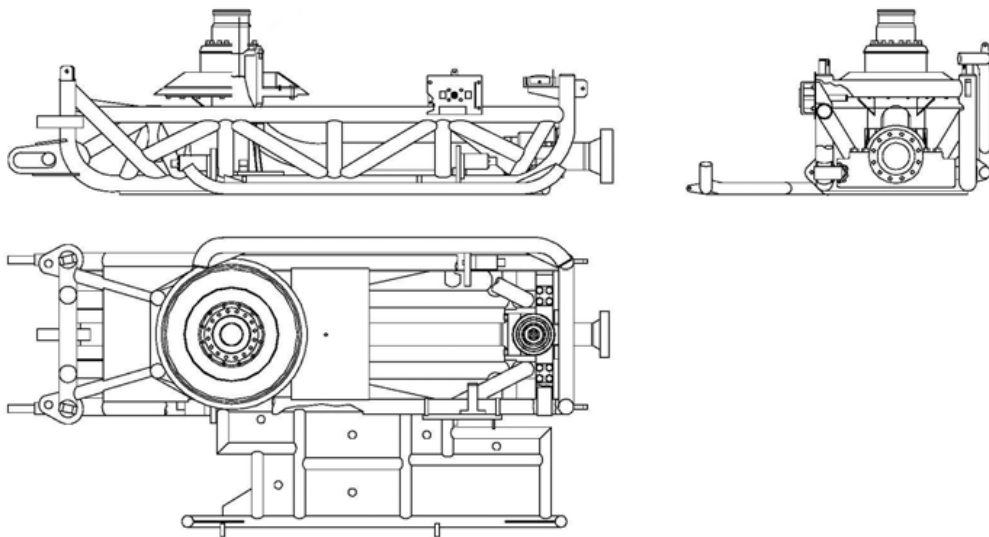


Рисунок 5.22 – Общий вид райзерного основания оконечного устройства  
трубопровода

#### 5.2.10 Основания канатов

Основания канатов используются для закрепления систем подводных буюв (например, плавная S-конфигурация) или для фиксации канатов гибкой трубой на морском дне при определенных конфигурациях, например, в конфигурации плавной волны. Пример основания канатов для системы морских буюв показан на рисунке 5.18. Основание канатов показано расположенным на морском дне и присоединенным к канатам.

#### 5.2.11 Хомуты буя подводного

Хомуты подводного буя используются для фиксации гибких труб на подводных буюх. Они состоят из разборной стальной сборки, которая крепится болтами на гибкую трубу. Отверстие хомута может включать полимерную внутреннюю футеровку, чтобы гибкая труба могла расширяться и сужаться без повреждений. На рисунке 5.23 показан общий вид хомута подводного буя с полимерной внутренней футеровкой между корпусом хомута и гибкой трубой. Центральная круглая пластина на хомуте используется для размещения хомута внутри подводного буя. На рисунке 5.19 показан хомут, размещенный на подводном бую.

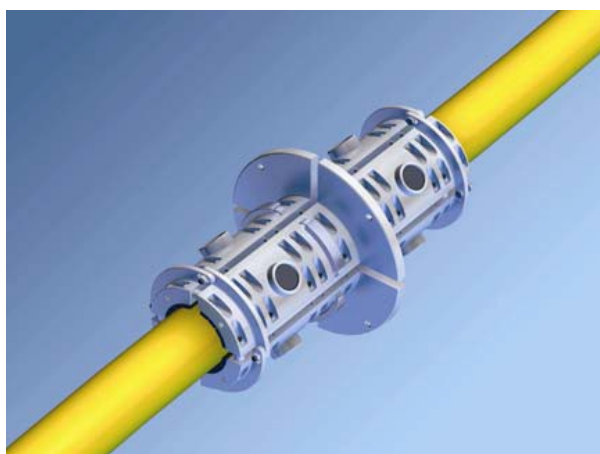


Рисунок 5.23 – Общи вид хомута подводного буя

#### 5.2.12 Хомуты кабель-тросов

Хомуты кабель-тросов используются для крепления кабель-тросов непосредственно к гибкой трубе, как показано на общем плане гибкой трубы на рисунке 5.20. Хомут устанавливается по окружности трубы, с которым соединяется кабель-трос. Иногда необходимо предусмотреть устройства ограничения сгиба на всех концах хомута, поскольку в местах установки хомута на гибкую трубу может действовать чрезмерные изгибающие моменты. На рисунке 5.24 показан общий вид сборки хомута кабель-троса с подключением к кабель-тросу при помощи скобы. На нем также показан шарнир, который позволяет соединению кабель-троса вращаться по отношению к хомуту.



Рисунок 5.24 – Общий вид сборки хомута каната

#### 5.2.13 Переходные хомуты и направляющие

Переходные хомуты и направляющие используются вдоль трубы с регулярными промежутками, чтобы создать опору для других линий, например, подводных кабелей или гибких труб. Переходные хомуты могут состоять из разборной полимерной сборки с цилиндрическими гнездами, которая крепится болтами к несущей трубе. Как вариант, они могут включать полимерную прокладку с цилиндрическим гнездом, как показано на рисунках 5.25 и 5.26. Они размещают поддерживаемую трубу и привязываются к несущей трубе. Материалы для привязки включают углеродистую сталь, нержавеющую сталь, материал типа «супердуплекс», титан и арамидный волоконный композит.

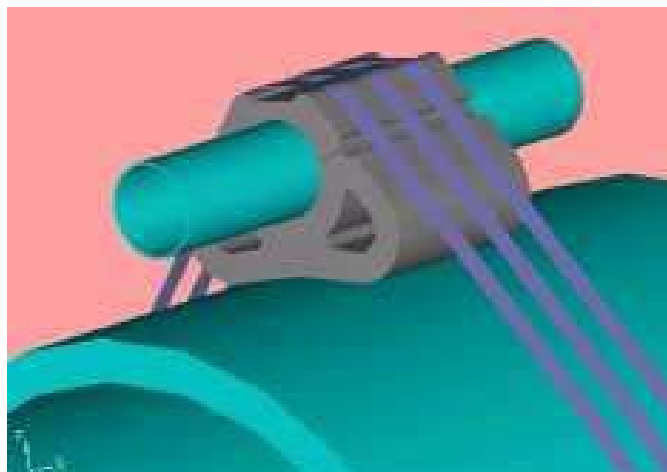


Рисунок 5.25 – Прокладка переходная

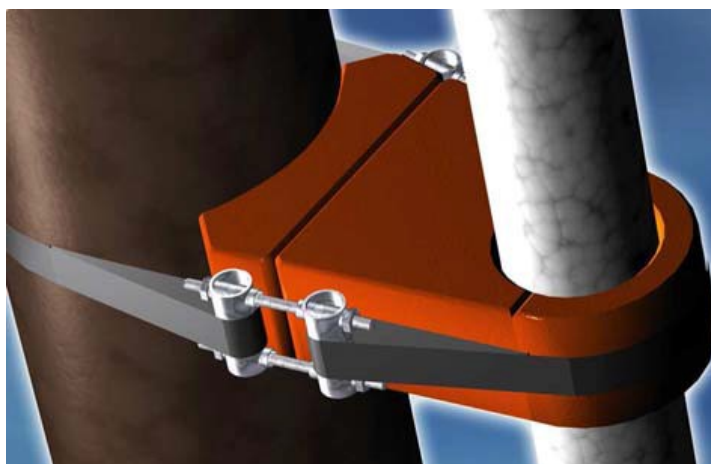


Рисунок 5.26 – Прокладка переходная

#### 5.2.14 Хомуты ремонтные

Ремонтные хомуты используются в тех местах гибкой трубы, где произошло повреждение. Пример применения ремонтных хомутов показан на рисунке 5.27. Как показано на рисунке, хомут может потребоваться, чтобы вывести газы из межтрубного пространства гибкой трубы. Существуют различные конфигурации. Легкий хомут, такой, как показан на рисунке 5.28, может быть натянут и уплотнен с помощью ТНПА на сравнительно небольших зонах повреждения. Как вариант, конструкция большого хомута, как показано на рисунке 5.29, может служить для областей повреждения большей длины или большего объема. Уплотнение создается натяжением прикрепленных болтов с помощью ТНПА.

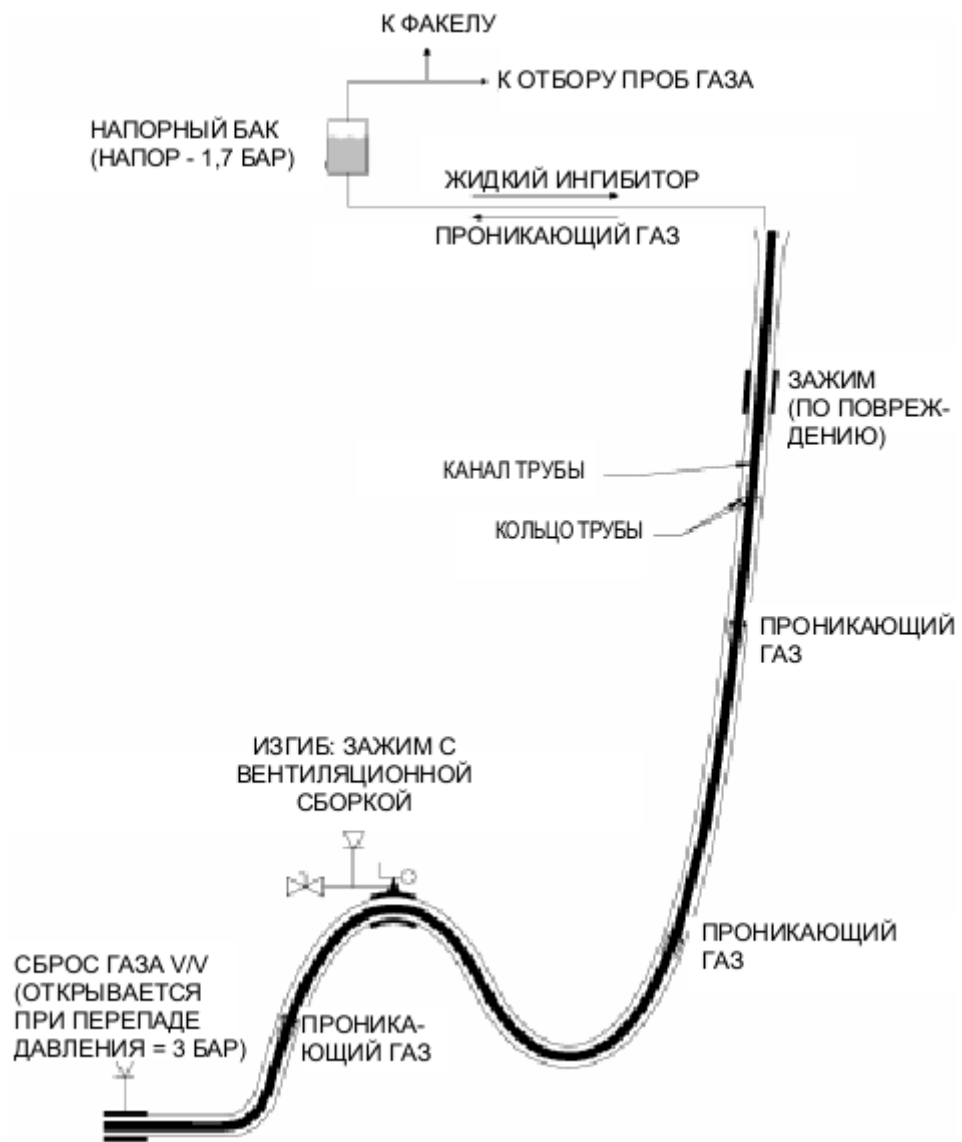


Рисунок 5.27 – Хомут ремонтный. Пример применения



Рисунок 5.28 - Хомут ремонтный легкий

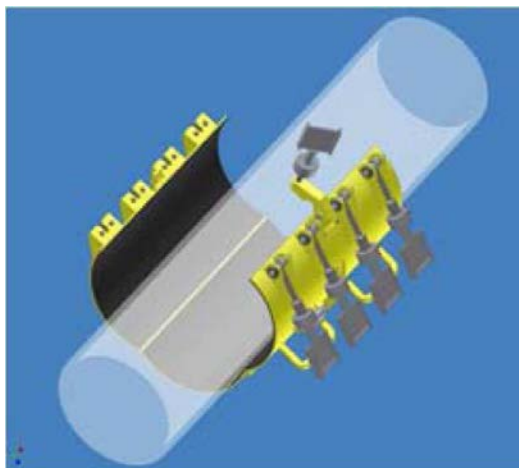


Рисунок 5.29 – Конструкция хомута ремонтного легкого

#### 5.2.15 Уплотнения I/J-образных труб

Внутренние поверхности I-образной или J-образной труб часто трудно защитить от коррозии традиционными средствами, например, покрытиями или системами катодной защиты. Вместо этого в трубе используется жидкость с ингибитором коррозии. Функция уплотнения I/J-образных труб заключается в обеспечении уплотнения, чтобы жидкость с ингибитором коррозии удерживалась внутри I/J-образной трубы. Существует два типа уплотнения I/J-образных труб: устанавливаемое водолазами и без помощи водолазов. Уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые без помощи водолазов, как показано на рисунке 5.30 и рисунке 5.31, втягиваются в I/J-образную трубу. Уплотнение оснащено серией уплотнительных элементов, которые показаны на рисунке 5.30. Уплотнительные элементы удерживаются на месте на гибкой трубе с помощью фиксирующего устройства, которое сопротивляется силам втягивания. Уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые водолазами, как показано на рисунке 5.31, требуют установки водолазом и могут иногда включать в себя хомут.





Рисунок 5.30 – Уплотнение J-образной трубы, устанавливаемое без помощи водолазов

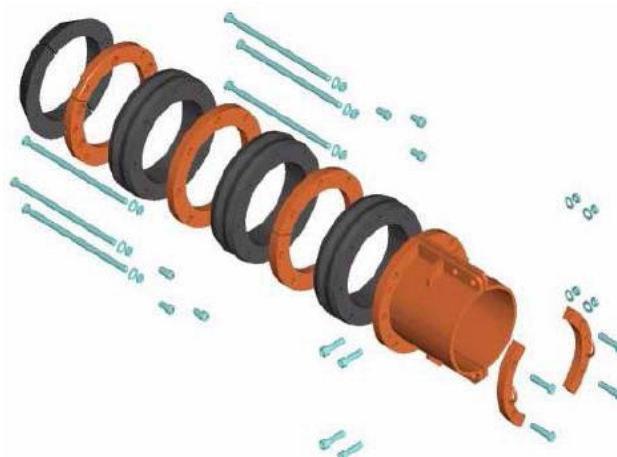


Рисунок 5.31 – Уплотнение J-образной трубы, устанавливаемое без помощи водолазов (вид разобранный)

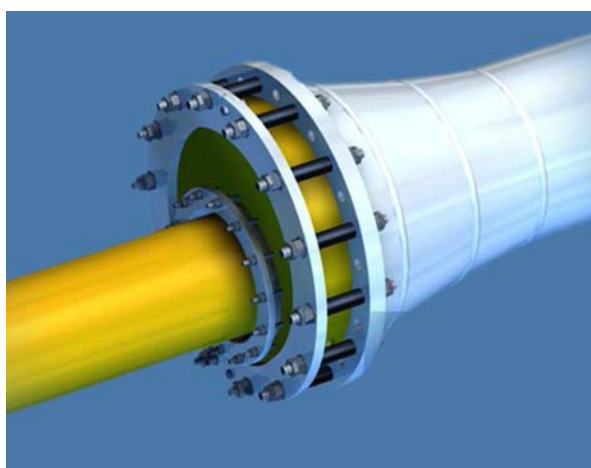


Рисунок 5.32 – Уплотнение J-образной трубы, устанавливаемое с помощью водолазов

#### 5.2.16 Головки втяжные

Втяжные головки обычно состоят из фланцевой конструкции, которая крепится болтами непосредственно на соединительную арматуру гибкой трубы, как показано на рисунке 5.33. Планка с обухом обычно приваривается к другому концу и используется для соединения с втяжным проводом. Некоторые втяжные головки могут включать в себя отверстия, чтобы облегчить проведение испытаний под давлением. Это обычно нестандартные компоненты, поскольку они должны быть совместимы по размеру с определенной используемой соединительной арматурой. Поэтому они редко используются повторно.

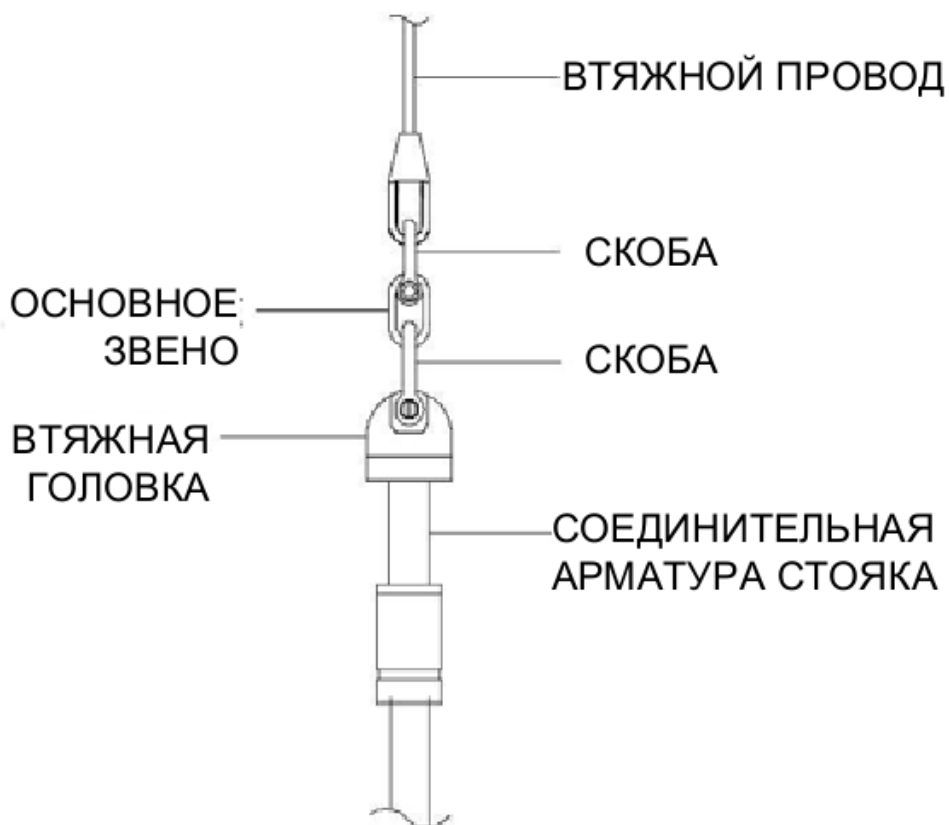


Рисунок 5.33 – Конфигурация головки втяжной

#### 5.2.17 Муфты

Муфты обычно используются, когда требуется передача напряжения от подъемных механизмов гибкой трубе. Муфты, как правило, состоят из цилиндрической сетки или проволочного троса, который наматывается вокруг части гибкой трубы и подсоединяется к подъемному оборудованию. Пример такой конфигурации показан на рисунке 5.34. Конструкция муфты такова, что захват на

гибкой трубе увеличивается при увеличении натяжения муфты. Муфта предназначена для сообщения нагрузки гибкой трубе, в основном, в осевом направлении.

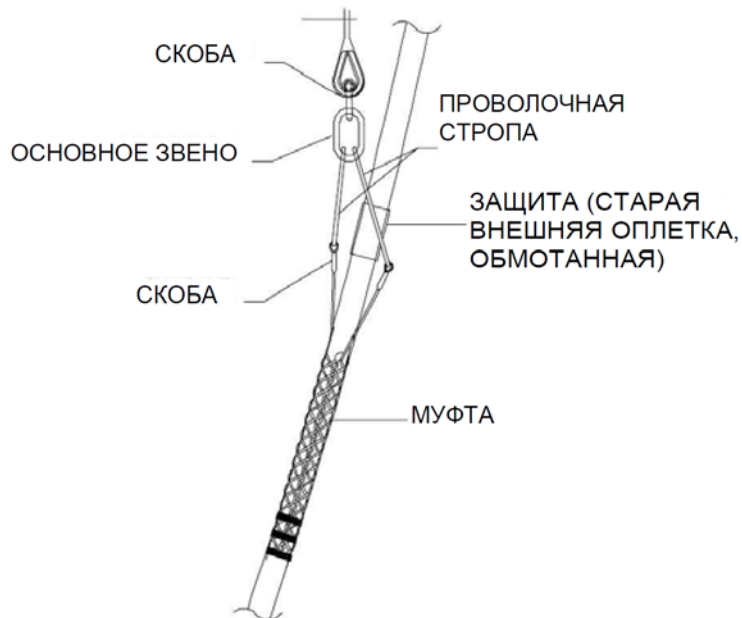


Рисунок 5.34 – Конфигурации муфты. Пример

#### 5.2.18 Соединители

Соединители используются для крепления соединительной арматуры гибкой трубы на обоих концах соединительной трубы к прилегающему трубопроводу. Соединители могут состоять из простой фланцевой сборки, которая крепится болтами к соединительной арматуре, стыковочной втулки или могут иметь более сложную конструкцию, которая позволяет соединению создавать замыкание после его втягивания. Шарнирные фланцы, как показано на рисунке 5.35, - это определенный тип соединения, который обеспечивает преимущество в виде относительного вращения между соединением и судном, что помогает при установочных работах. Быстроразъемные системы и системы быстрого соединения могут использоваться в качестве соединений, если в эксплуатационных требованиях имеется аварийный сброс для динамической работы стояка. На рисунке 5.36 показан пример быстроразъемной системы.

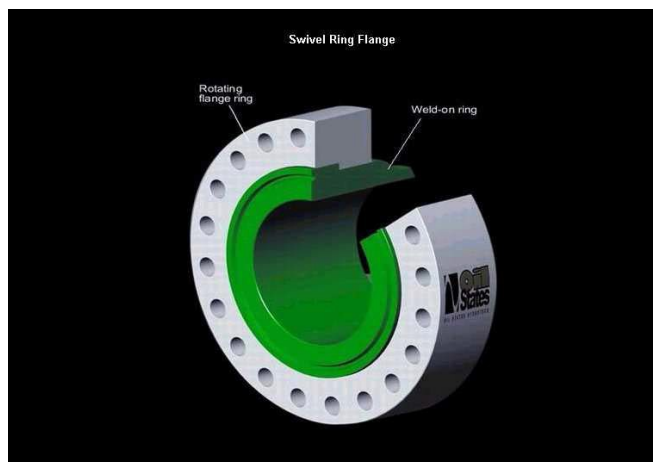


Рисунок 5.35 – Фланец шарнирный

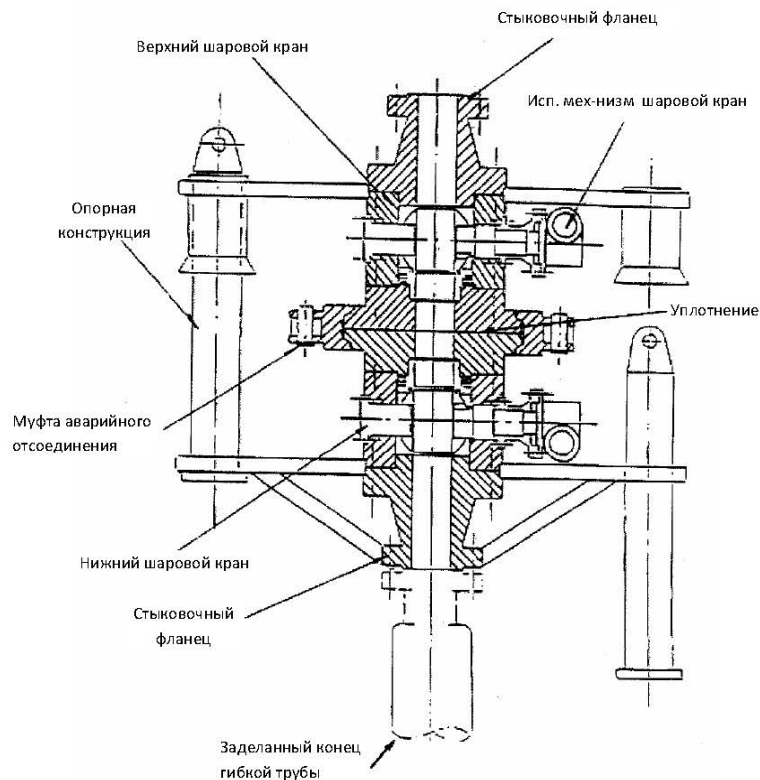


Рисунок 5.36 – Система быстроразъемная. Пример

Главные свойства систем аварийного сброса следующие:

- запорный шаровой клапан в верхней и нижней половинах конструкции;
- возможность разъединения при полных расчетных нагрузках и внутреннем давлении;
- минимальные размеры и масса конструкции;
- полнопроходное сквозное отверстие для внутритрубопроводных работ;
- герметичное соединение с основным уплотнением торец к торцу для

предотвращения повреждения уплотнений во время отсоединения/повторного соединения и динамической нагрузки;

- поплавковые клапаны, сцепленные с механизмом сброса для закрытия при разъединении (может не требоваться для всех применений);

Упрощенная опорная конструкция (направляющие раструбы) для простого и безопасного повторного соединения;

- возможность периодически испытывать механизм сброса, не отпуская трубопровод или не ломая основное уплотнение (или, если это невозможно, альтернативный порядок испытаний, который включает повторное испытание основного уплотнения после повторного соединения).

#### 5.2.19 Устройства для передачи нагрузки

Устройства для передачи нагрузки представляют сборку для передачи нагрузок от гибкой трубы к верхнему соединению. Устройство для передачи нагрузок может содержать буртики, хомуты или фланцы, и может совмещаться с соединительной арматурой гибкой трубы или соединительной конструкцией элемента жесткости на изгиб. Устройство для передачи нагрузок может быть протянуто через I/J-образную трубу судна, а охватываемая сборка замыкается в гнездовой части соединения в I/J-образной трубе.

Перечислены примеры различных конфигураций устройств для передачи нагрузок и соответствующие рисунки к ним:

Буртик, сопряженный с соединительной арматурой гибкой трубы – рисунок 5.37.

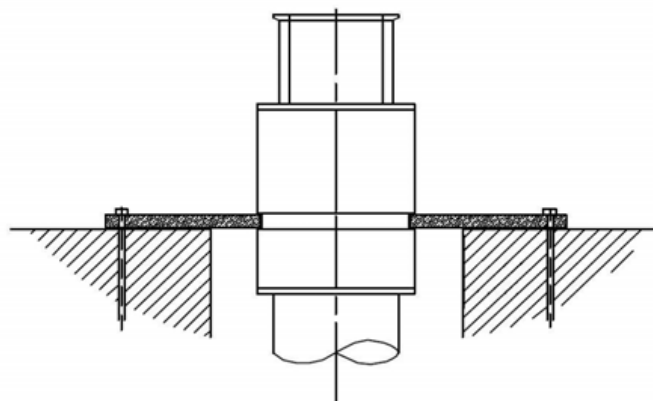


Рисунок 5.37 – Устройство для передачи нагрузок с буртиком

Хомут и буртик, сопряженные с соединительной арматурой гибкой трубы и швартовой турели - рисунок 5.38.

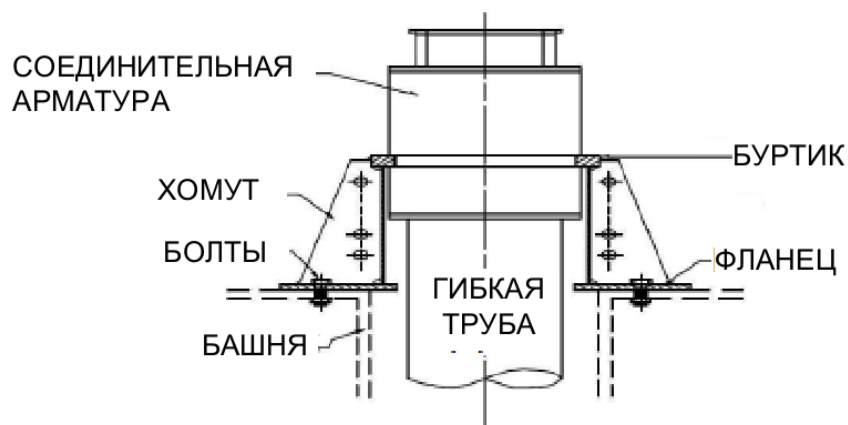


Рисунок 5.38 – Устройство для передачи нагрузок с хомутом и буртиком, швартовая турель

Хомут и буртик, сопряженные с соединительной арматурой гибкой трубы, соединительной конструкцией элемента жесткости на изгиб и швартовой турелью - рисунок 5.39.

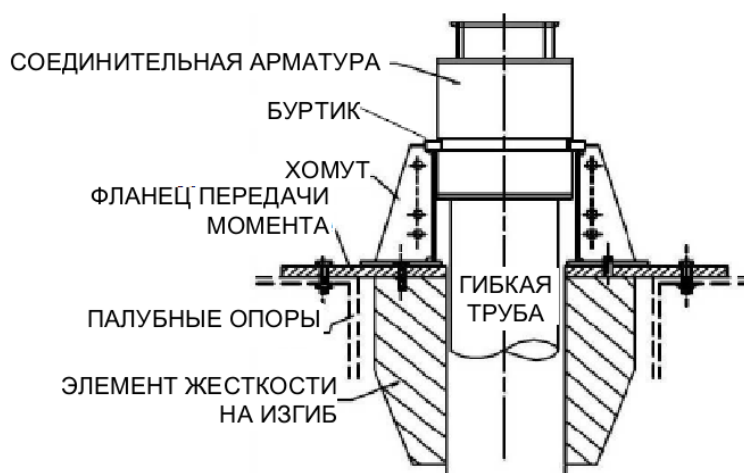


Рисунок 5.39 – Устройство для передачи нагрузок с хомутом и буртиком, подпалубные брусы

Фланец передачи момента, сопряженный с соединительной конструкцией элемента жесткости на изгиб - рисунок 5.40.

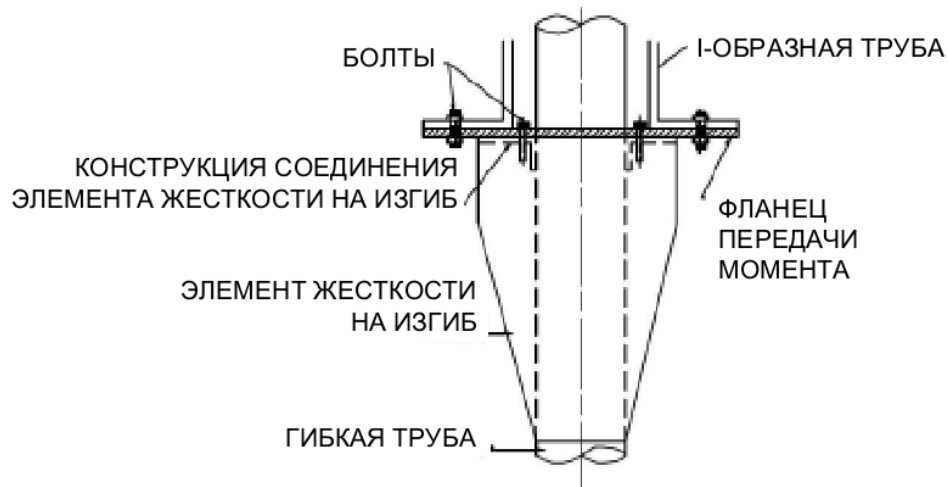


Рисунок 5.40 – Устройство для передачи нагрузок с фланцем передачи момента

Втяжное устройство для передачи нагрузок - рисунок 5.41.

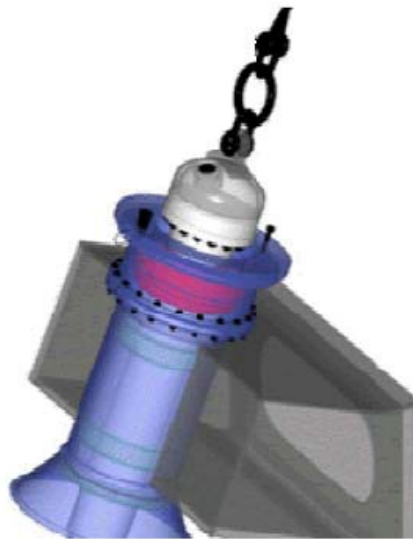


Рисунок 5.41 – Втяжное устройство для передачи нагрузок

Верхнее соединение гибкого трубопровода может подвешиваться на опорную конструкцию снаружи или внутри.

#### Примечания

1 Гибкая труба может быть соединена с верхним трубопроводом на понтонном уровне или подвешена на уровне верхней палубы во внешнем соединении.

2 Гибкая труба обычно протягивается через I/J-образную трубу и подвешивается наверху I/J-образной трубы во внутреннем соединении (рисунок 5.37 или рисунок 5.38).

Нагрузка двух подвесных конструкций очень отличается, при внутреннем соединении имеется только осевая нагрузка, а при внешнем соединении – осевая нагрузка, нагрузка изгиба и сдвигающая нагрузка.

#### 5.2.20 Защита механическая

##### 5.2.20.1 Защита от истирания и ударов

Необходимо защищать гибкую трубу от истирания и ударных нагрузок в области касания с землей, где гибкая труба может иметь периодический контакт с морским дном. Защита от истирания и ударов также может использоваться для защиты гибких труб от столкновения в местах подвешивания. На рисунке 5.42 показано типичное расположение защиты от истирания в общей системе гибкой трубы, а на рисунке 5.43 показан пример защиты от истирания и ударов. Также может устанавливаться спиральный отрезок, в этом случае он обматывается вокруг гибкой трубы.

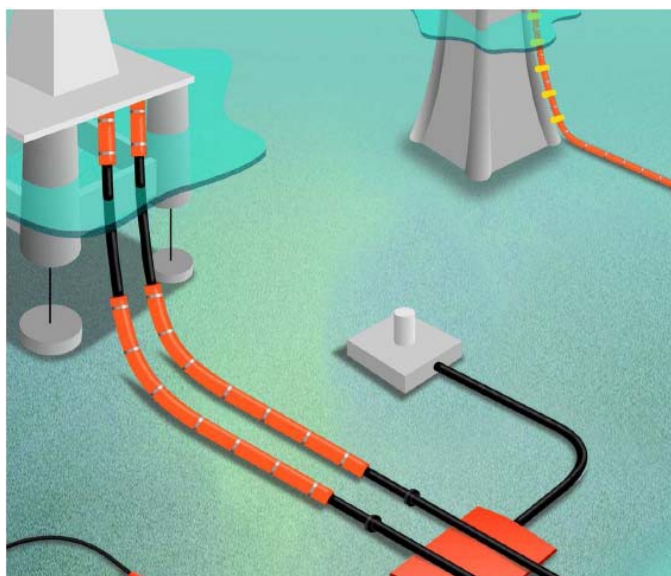


Рисунок 5.42 – Защита механическая гибкого трубопровода. План общий





Рисунок 5.43 – Защита гибкого трубопровода от истирания и ударов. Пример  
Такая механическая защита удерживается на месте с помощью обвязки. Обвязка может изготавливаться из металлических или полимерных материалов, преимуществом последнего является более легкая по весу система. В некоторых изделиях обвязка располагается внутри защиты от истирания и ударов, чтобы защитить ее от истирания и ударов. Некоторые защиты от истирания и ударов также могут добавлять вес гибкой трубе, что имеет преимущество в случаях, когда требуется дополнительная стабильность рядом с областью соприкосновения. Дополнительный вес обычно достигается при использовании полимеров высокой плотности или при введении металлических вкладышей в защиту от истирания и ударов.

#### 5.2.20.2 Защитное покрытие

Защитное покрытие - это полимерное покрытие, которое используется для обеспечения защиты гибких труб на морском дне при наличии пересечений с трубопроводом или кабелями, как показано на рисунке 5.44 Также может использоваться для обеспечения стабильности гибкой трубы.

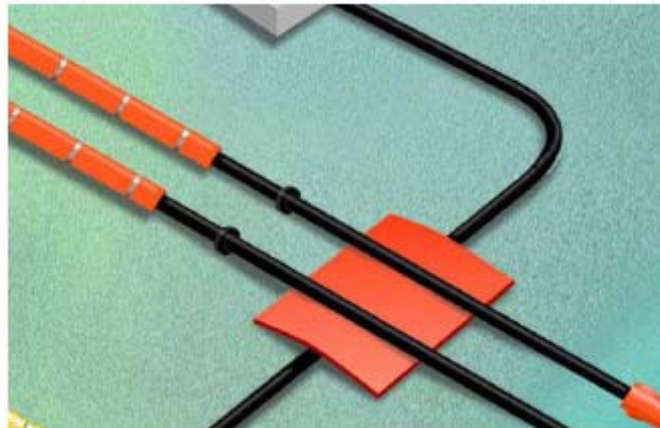


Рисунок 5.44 – Покрытие защитное гибкого трубопровода. Пример

#### 5.2.21 Противопожарная защита

Противопожарная защита используется для защиты поверхности системы гибкой трубы от пожаров, которые могут потенциально возникнуть на верхнем уровне. Противопожарная защита может устанавливаться на гибкой трубе, верхней соединительной арматуре и любом поверхностном вспомогательном оборудовании. На рисунке 5.45 показан пример конфигурации противопожарного покрытия для защиты гибкой трубы, соединительной арматуры и подвесных конструкций. На

рисунке 5.46 показан пример конфигурации противопожарного покрытия для защиты элемента жесткости на изгиб и подвесных конструкций.

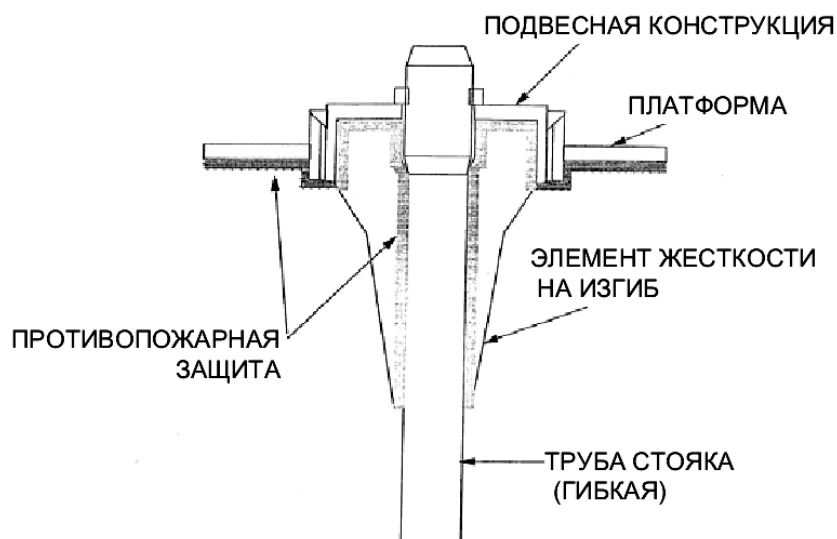


Рисунок 5.45 – Устройство защиты противопожарной для гибкого трубопровода и конструкций подвесных

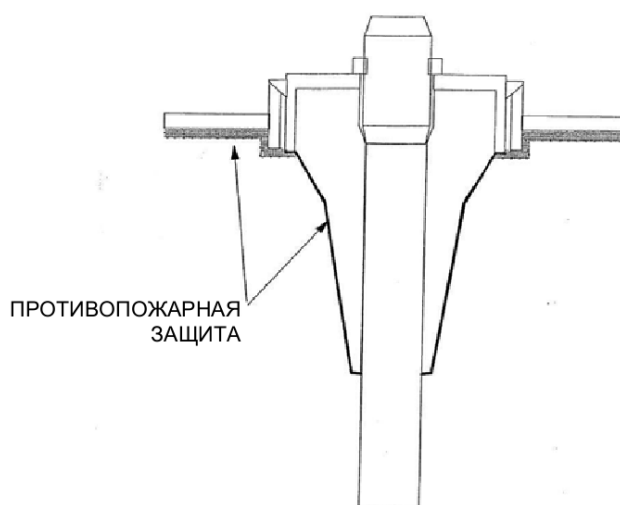


Рисунок 5.46 – Устройство защиты противопожарной для элемента жесткости на изгиб и конструкций верхних

Противопожарная защита может защищать только на протяжении определенного периода времени, достаточного для выполнения действий по предотвращению попадания скважинной продукции в огонь или повреждения системы гибкой трубы. Противопожарная защита может применяться в виде внешнего покрытия или ленты, которая оборачивается вокруг внешней оболочки гибкой трубы. Противопожарная защита может быть предусмотрена при внедрении

46

специальных огнестойких слоев в обычной поперечной структуре гибкой трубы.

### **5.3 Вопросы проектирования**

#### **5.3.1 Общие сведения**

Целью данного пункта является разработка и предоставление руководств по проектированию вспомогательного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Настоящий пункт распространяется на следующее:

- исходные данные;
- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- случаи расчетной нагрузки.

#### **5.3.2 Исходные данные**

Исходные данные - это документ, в котором указываются расчетные параметры, которые будут использоваться до этапа проектирования для стационарного вспомогательного оборудования. Исходные данные могут быть в форме опросного листа, однако требуется, чтобы в них были данные, указанные в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### **5.3.3 Обзор проектирования**

Последующие подпункты данного стандарта описывают процесс проектирования для рассматриваемого вспомогательного оборудования.

#### **5.3.4 Коррозионная защита**

5.3.4.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы разнородные металлы были изолированы друг от друга. Это достигается при использовании диэлектрических покрытий между разнородными металлами.

5.3.4.2 При использовании, аноды системы катодной защиты должны размещаться на вспомогательном оборудовании таким образом, чтобы они были легко доступны при визуальном осмотре.

5.3.4.3 Выбор систем коррозионной защиты необходимо выполнять с учетом длительности, в течение которого компонент будет расположен в подводных условиях до начала работ по установке. Последнее условие может относиться к

вспомогательным компонентам, которые крепятся к гибким трубам, которые предварительно укладываются на морском дне до дальнейшего извлечения.

### 5.3.5 Типы отказов

Последующие пункты данного стандарта описывают возможные дефекты, которые могут произойти у рассматриваемого вспомогательного оборудования.

### 5.3.6 Общие проектные критерии

5.3.6.1 Общие критерии проектирования для вспомогательного оборудования (за исключением ферменных конструкций, сосудов под давлением и подъемного оборудования) даны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) в отношении напряжения и усталости.

5.3.6.2 Материалы должны обеспечить, как минимум, уровень безопасности, указанный в данном стандарте и в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Проектные критерии должны учитывать все характеристики материалов, такие как восприимчивость к ползучести, усталости, чрезмерному натяжению, растрескиванию и т.д.

5.3.6.3 Допустимые коэффициенты использования, представленные в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), были взяты, чтобы предоставить приемлемые коэффициенты прочности в отношении отказов, и они соответствуют коэффициентам использования для гибкой трубы. Такие коэффициенты предписывают максимальное напряжение по Мизесу, как соотношение конструкционной прочности стальных материалов.

Существует три разных критерия; относящийся к касательному напряжению, относящийся к напряжению изгиба и относящийся к дополнительному напряжению:

$$(\sigma_p)_e < C_f C_a \sigma_y, \quad (1)$$

$$(\sigma_p + \sigma_b)_e < 1,5 C_f C_a \sigma_y \quad (2)$$

$$(\sigma_p + \sigma_b + \sigma_q)_e < 3,0 C_f C_a \sigma_y \quad (3)$$

где  $(\sigma_p)_e$  – касательное напряжение по Мизесу;

$C_f$  – коэффициент допустимого напряжения = 0,67;

$C_a$  – коэффициент расчетной нагрузки от 1,0 для категории рабочей нагрузки

до 1,5 для категории нагрузки сохранения,

- $\sigma_y$  – минимальный предел текучести материала;
- $\sigma_b$  – напряжение изгиба;
- $\sigma_q$  – дополнительное напряжение.

5.3.6.4 В таблице 1 показаны коэффициенты использования для различных значений  $C_f$  ГОСТ Р ИСО 13628-2 и ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Необходимо отметить, что учитываются только значения  $C_f$  до 1,35 так как ГОСТ Р ИСО 13628-2 не учитывает использование для категории нагрузки сохранения, соответствующий коэффициент которой составляет 1,5. В ГОСТ Р ИСО 13628-2 есть значение 0,85 для нештатного/аварийного режимов работы и монтажа. Таким образом, чтобы соответствовать требованиям ГОСТ Р ИСО 13628-2, 0,85 меняют на коэффициент  $C_f C_a$ , чтобы рассчитать использование для условий чрезвычайной нагрузки, аварийной нагрузки и нагрузки установки в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Таблица 1 – Сравнение использования стандартов

	ГОСТ Р ИСО 13628-2	ГОСТ Р ИСО 13628-2	ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)	ГОСТ Р ИСО 13628-2
Режим работы	Нормальная эксплуатация	Нештатный/аварийный режимы работы и монтаж	Нештатный/аварийный режимы работы и монтаж	Испытание гидростатическим давлением
	$C_f = 1,0$	$C_f = 1,2$	$C_f = 1,2$	$C_f = 1,35$
$C_f C_a$	0,67	0,85	0,85	0,91
1,5 $C_f C_a$	—	—	1 275	—
3,0 $C_f C_a$	—	—	2,55	—
Примечание - Опубликованные коэффициенты использования относятся только к				

материалам из стали.
----------------------

5.3.6.5 В последующих пунктах данного стандарта дается руководство и рекомендации по выбору критериев полимерного и композитного материалов для рассматриваемого вспомогательного оборудования.

5.3.6.6 Пункты 5.5.4 - 5.5.5 предоставляют описание анализа срока службы, включая ползучесть и усталость. Критерии для расчетов усталости стали, других металлических, полимерных и композитных материалов указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.3.6.7 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует указывать все коэффициенты прочности и их соответствующую величину, которые были представлены в указанных расчетных нагрузках.

#### 5.3.7 Проектирование болтовых соединений

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы болты предварительно нагружались при статических и динамических работах. Болты в конструкциях, подверженных динамической нагрузке, должны предварительно нагружаться в соответствии с ГОСТ ISO 898-1-2014.

#### 5.3.8 Нагрузки

5.3.8.1 Вспомогательное оборудование проектируется при соблюдении функциональных требований в условиях нагрузки в соответствии с внутренней средой (при необходимости), внешней средой и сроком службы. Условия нагрузки, относящиеся к внутренней среде, непосредственно относятся к основанию райзерному и ремонтным хомутам, втяжным головкам и соединениям.

5.3.8.2 Все нагрузки от стационарного вспомогательного оборудования, включая производство, хранение, транспортировку, испытания, монтаж, эксплуатацию и аварийные ситуации, определяются производителем в исходных данных, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.3.8.3 Нагрузки, воздействующие на гибкую трубу указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Также, это могут быть нагрузки, которые не воздействуют на гибкую трубу, например, внутреннее давление плавучей емкости. Нагрузки, которые необходимо учесть при проектировании вспомогательного оборудования, даны в разделе о нагрузках в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.3.8.4 Случаи нагрузок для аварийных ситуаций должны анализироваться для вспомогательного оборудования, когда такие аварийные ситуации влияют на вспомогательное оборудование (например, сценарий затопления отсека судна будет непосредственно влиять на элемент жесткости на изгиб, прикрепленный к судну). Для некоторого вспомогательного оборудования имеются аварийные ситуации, которые не влияют на вспомогательное оборудование (например, основание райзерное может быть рассчитано на падение предметов). Такие аварийные ситуации описаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) и в данном стандарте.

#### 5.3.9 Расчет срока службы

Расчеты срока службы выполняются в отношении ухудшения свойств полимера (см. пункты данного стандарта о материалах), коррозии металлических компонентов и анализа усталости. Если напряжения превышают пределы прочности, требуется анализ усталости. Для выполнения анализа усталости анализируется вспомогательное оборудование в сочетаниях усталостной нагрузки, указанных в исходных данных. Такие сочетания нагрузки берутся из анализов общей усталости гибкой трубы.

#### 5.3.10 Расчет монтажа и установки

Может потребоваться анализ вспомогательного оборудования в отношении предложенного метода монтажа и установки, относящегося либо к установке гибкой трубы, либо к установке вспомогательного оборудования. Руководства и рекомендации даются в последующих пунктах данного стандарта.

### **5.4 Материалы**

#### 5.4.1 Общие сведения

5.4.1.1 Данный стандарт в части требований к материалам поддерживает требования к материалам, указанным в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) и дает общее руководство по выбору материалов для вспомогательного оборудования. В данном разделе указаны используемые материалы, их рабочие характеристики даны для рассматриваемого вспомогательного оборудования. Даны рекомендации по испытанию сопротивления старению для полимерных и композитных материалов.

5.4.1.2 Материалы и их свойства должны рассматриваться в отношении возможных типов отказов, а также для определения особо важных требований к

материалам вспомогательного оборудования. Подробный список возможных типов отказа дан в пункте 7 и далее.

#### 5.4.2 Полимерные материалы

5.4.2.1 Указаны полимерные материалы, широко используемые при производстве вспомогательного оборудования, а их эксплуатационные характеристики представлены в соответствующих пунктах по материалам данного стандарта. Руководства в отношении свойств полимерных материалов даны в 5.4.2.2 и 5.4.2.3.

5.4.2.2 Модуль сдвига для изотропных материалов можно рассчитать по следующей формуле:

$$G = E/2(1+\nu), \quad (4)$$

где  $G$  – модуль сдвига;

$E$  – модуль упругости при растяжении;

$\nu$  – коэффициент Пуассона.

Следовательно, в таких случаях нет необходимости испытывать на данное свойство.

5.4.2.3 Сопротивление истиранию и ударопрочность, измеренные с помощью лабораторных испытаний материалов, должны использоваться исключительно как сравнительные показатели, так как трудно точно смоделировать реакцию определенных условий истирания или ударной нагрузки.

#### 5.4.3 Порядок испытания полимеров

##### 5.4.3.1 Общие сведения

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) определяет требованиям к материалам указывают требования к свойствам материалов и порядок испытаний. Так как не существует порядка испытаний стойкости полимерных материалов к старению, порядок не представлен в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). В следующих пунктах даны руководства и рекомендации по выполнению таких испытаний.

##### 5.4.3.2 Испытания на старение

5.4.3.2.1 Старение полимерных и композитных материалов - это необратимый процесс, который происходит, когда на материал воздействуют определенные условия окружающей среды. Старение зависит от температуры, воздействия



морской воды, воздействия воздуха (разрушение под действием озона в определенных случаях) и УФ излучения. По этим необходимо указать (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)) температуру воздуха и морской воды, которая воздействует на полимерные и композитные материалы. Процесс старения характеризуется изменением свойств, такими как снижение прочности или эластичности и хрупкостью либо размягчением. К тому же физические свойства полимера или композита могут существенно изменяться при высвобождении пластификаторов.

5.4.3.2.2 Производитель может использовать дистиллированную, пресную или морскую воду для испытаний на старение, при условии, что вода воспроизводит уровни впитывания и старения, эквивалентные или выше, чем у морской воды в указанных морских условиях.

При погружении образца в воду для определения старения материала, необходимо применять следующие условия:

Если используется искусственная морская вода, она должна соответствовать требованиям нормативных документов серии РД 52.10 [4].

Температура воды не должна отклоняться от указанного значения, более чем на  $\pm 2$  °С.

Уровень pH и содержание соли воды должны быть репрезентативными для применения.

5.4.3.2.3 Сырье должно испытываться на старение при температурах, на основании которых выполняется проектирование вспомогательного оборудования.

#### 5.4.4 Металлические материалы

5.4.4.1 В данном разделе представлены металлические материалы, используемые при производстве вспомогательного оборудования и их эксплуатационные характеристики.

5.4.4.2 Требования к свойствам металлических материалов указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Свойства необходимо сравнить с требованиями по типам критических отказов, указанным в данном стандарте. В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны стандарты, которым должны соответствовать металлические материалы для конструкционных компонентов.

Стандарты определяют следующие испытания контроля качества:

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

- химический состав;
- предел текучести;
- предельная прочность;
- удлинение;
- ударопрочность.

5.4.4.3 Требования к контролю качества для металлического сырья указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Стандарты определяют следующие испытания контроля качества:

- химический состав;
- предельная прочность;
- ударопрочность;
- допуски размеров.

Периодичность испытаний контроля качества - одно испытание на разрыв и три испытания на ударную нагрузку на партию термообработки.

## **5.5 Вопросы анализа**

### **5.5.1 Введение**

В данном разделе являются рекомендации по способам общего анализа вспомогательного оборудования и определению типичных нагрузок.

### **5.5.2 Локальный анализ**

Локальный анализ вспомогательного оборудования обычно выполняется обычными вычислениями вручную, испытаниями методом конечных элементов или специальным программным обеспечением. Применение вычислений вручную обычно ограничено стандартными стальными компонентами, такими как подъемное оборудование, чьи характеристики хорошо известны и для которых существуют официальные расчетные уравнения. Испытания методом конечных элементов используется, когда имеется сложная, нестандартная геометрия компонентов, и, если требуется моделирование воздействий, таких как нелинейность материала, которые нелегко моделировать другими способами. В подразделах данного раздела даны руководства и рекомендации по способам локального анализа для вспомогательного оборудования.

### **5.5.3 Общий анализ**

Все вспомогательные компоненты системы гибкого трубопровода должны

быть включены в общий анализ на этапе проектирования.

#### 5.5.4 Анализ срока службы - общие сведения

5.5.4.1 Расчетный срок службы стационарного вспомогательного оборудования должен быть, как минимум, эквивалентен сроку службы соответствующей гибкой трубы.

5.5.4.2 Оценка срока службы должна производиться исходя из следующих критериев:

- коррозия и другие типы нарушений целостности металлических поверхностей (эрозия, водородное охрупчивание) и влияние такой коррозии на другие материалы, с которыми существует контакт;

- изнашивание металлических материалов;
- усталость металлического, полимерного и композитного материала;
- ухудшение свойств полимерного и композитного материала;
- истирание полимеров и композитов.

5.5.4.3 Изнашивание и усталость, в основном, касаются только динамических применений. Металлические материалы необходимо выбирать таким образом, чтобы не возникала коррозия, или степень коррозии можно было рассчитать на основании внешних условий и учесть при проектировании вспомогательного оборудования. Другие типы возможных повреждений, включая эрозию и водородное охрупчивание, необходимо учесть при выборе материала, с учетом требований ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.5.4.4 Ухудшение свойств и изнашивание/истирание полимеров учитывается при выборе материалов. Ухудшение свойств также учитывается для анализа старения/испытаний.

#### 5.5.5 Анализ ползучести

5.5.5.1 Если на полимерный или композитный материал действует постоянное напряжение, оно может постепенно приводить к деформации до достижения той точки, при которой ухудшение свойств материалов не будет соответствовать функциональным требованиям. Для проектирования необходимо знать типы нарушений для стационарного вспомогательного оборудования. Важно понимать, что материал, который может выдерживать нагрузку в течение короткого периода времени, не сможет выдерживать такую нагрузку в течение длительного

периода. Время, необходимое для разрушения материала, зависит от нескольких факторов, включая уровень напряжения, температуру окружающей среды, тип окружающей среды, геометрию компонента, молекулярную структуру и метод производства.

5.5.5.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы ползучесть не допускала растяжений свыше допустимых уровней и не приводила к неисправностям материала, не соответствующим функциональным требованиям, в течение указанного срока службы. Проектирование с учетом ползучести можно выполнить с помощью кривых ползучести, получив натяжение материала, подвергаемого напряжению в течение данного периода времени. Однако, получение таких кривых экспериментально занимает много времени, поскольку получение кривых ползучести для вспомогательного оборудования требует проведения испытаний в течение того же времени, что требуется и для полного срока службы, т.е. 25 лет, и требует учесть отдельную кривую для каждого напряжения. Одним из методов, используемых в промышленности, является ограничение напряжения полимера до определенного процента от допустимого, с учетом того, что, напряжение ограничено до такого процента, не подвергнет материал ползучести. Соответствующие коэффициенты использования (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)) могут применяться для того, чтобы не превышать допустимых пределов ползучестью. Необходимо принять во внимание влияние расчетной температуры на уровень ползучести.

#### 5.5.6 Анализ усталости

5.5.6.1 Требования к анализу усталости металлов указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Требуется, чтобы анализ усталости металлических компонентов, подвергаемых динамическим нагрузкам, выполнялся в соответствии со стандартами, указанными в таблице 2.

Таблица 2 – Примеры стандартов, относящихся к усталости металлоконструкций

Стандарт	Наименование
СП 369.1325800	Платформы морские стационарные. Правила проектирования
СП 58.13330	Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01
ГОСТ Р 54483	Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для

Стандарт	Наименование
	нефтегазодобычи. Общие требования
ГОСТ Р 57555	Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Верхние строения
ГОСТ Р 58283	Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ
ВСН 41.88 [2]	Проектирование ледостойких стационарных платформ
РД 31.3.07 [3]	Указания по расчету нагрузок и воздействия волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения

5.5.6.2 Требования к анализу усталости полимерных и композитных материалов указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.5.6.3 Согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требуется, чтобы анализ усталости учитывал концентрации напряжений. Концентрации напряжения определяются анализом напряжения локальных элементов. В анализе должна применяться мелкая сетка в зоне концентрации напряжений, чтобы точно захватить максимально связанные напряжения. Концентрации напряжения увеличивают диапазон напряжения в определенной области, и, следовательно, увеличивают усталостное повреждение.

## **5.6 Испытания опытного образца**

### **5.6.1 Общее применение**

5.6.1.1 В данном разделе приведены руководства по требованиям к испытаниям опытных образцов и общий порядок выполнения таких испытаний. Требования к ПСИ образца и материалов указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

5.6.1.2 Документация испытаний опытного образца предназначена для проверки методики проектирования (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

5.6.1.3 Выбранная группа испытаний для классификации конструкции опытного образца обычно включает испытания материалов и ПСИ, как указано в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

## 5.6.2 Применение испытаний

5.6.2.1 Испытания опытного образца рекомендуются для новых и неопробованных конструкций вспомогательного оборудования. Цели испытаний опытного образца заключаются в следующем:

- опробовании или проверка новых или неопробованных конструкций вспомогательного оборудования;
- проверке метода проектирования для новой конструкции вспомогательного оборудования.

5.6.2.2 Вторая цель увеличивает доверительный уровень в методе проектирования и, таким образом, снижает требования к испытаниям опытного образца. Требования к способу проектирования указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Метод проектирования должен обеспечивать оценку разрушающей нагрузки для определенного испытания опытного образца. Доверительный предел должен быть установлен таким образом, при котором проектирование происходит с запасом.

5.6.2.3 Основания к уменьшению требований к испытаниям опытного образца - это необходимость повысить доверительные уровни в методе проектирования. Все выполненные испытания должны использоваться для утверждения метода проектирования и минимизировать будущие требования к испытаниям опытных образцов. Допускается использовать утвержденные аналитические подходы для выполнения экстраполяции от соответствующих параметров, учитывая изменения параметров в соответствии с рекомендациями пункта 5.6.

## 5.6.3 Требования к испытаниям

5.6.3.1 Требования к испытаниям опытных образцов должны учитывать, является ли вспомогательное оборудование новой конструкцией, и какие существуют типы критических отказов и последствия. Если конструкция вспомогательного оборудования выходит за пределы ранее утвержденных конструкций, необходимо выполнить испытания опытного образца, чтобы утвердить метод проектирования. Такие испытания опытного образца должны подтвердить

пригодность к использованию по назначению таких проектных параметров, которые выходят за ранее утвержденные пределы.

Проектные параметры, которые должен учитываться при испытании опытного образца:

- расчетные нагрузки;
- расчетная температура;
- материалы;
- процесс(ы) производства.

5.6.3.2 Новая конструкция вспомогательного оборудования определяется существенным изменением или модификацией одного из следующих пунктов:

- процесс производства вспомогательного оборудования (конструкционные слои, внутреннее покрытие или соединительная арматура);
- конструкция вспомогательного оборудования;
- область применения вспомогательного оборудования.

Дальнейшие проектные параметры, которые учитываются для вспомогательного оборудования, представлены в последующих пунктах об испытании опытных образцов для рассматриваемого вспомогательного оборудования.

#### 5.6.4 Типы отказов

Требования к испытаниям опытных образцов должны учитывать критичность и последствия неисправности вспомогательного оборудования. Должны быть указаны возможные дефекты, последствия таких дефектов и их причины. Крупные вероятные дефекты указаны в таблицах для рассматриваемого вспомогательного оборудования. К таким таблицам необходимо обращаться при определении требований к испытаниям опытных образцов.

#### 5.6.5 Испытательные образцы

5.6.5.1 Испытания опытных образцов должны проводиться на полноразмерных изделиях.

5.6.5.2 Фактические размеры вспомогательного оборудования, подлежащего испытаниям опытных образцов, должны быть в допустимых пределах допусков для размеров, указанных для обычной продукции. По возможности, такие фактические размеры должны представлять наихудшие условия. Образцы должны включать все

слабые точки, которые могут быть в конечном изделии. Сюда входят сварные соединения, отремонтированные или поврежденные секции.

5.6.5.3 Испытательные образцы должны представлять фактически поставляемое изделие, с учетом порядка проектирования и производства. Если образцы сделаны при использовании полуавтоматических работ (т.е., не при серийном производстве), необходимо учесть возможную разницу между образцом и продукцией. Может потребоваться рассмотреть воспроизведение некоторых особо важных результатов испытаний по производственным образцам, чтобы проверить производственное оборудование и порядок производства.

#### 5.6.6 Испытательное оборудование

Испытательное оборудование должно соответствовать ГОСТ Р 8.568-2017. Все испытательное оборудование и КИПиА должны калиброваться не реже, чем раз в год. Текущая сертификация/сертификаты калибровки для всего испытательного оборудования должны быть включены в исполнительно-техническую документацию, (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

#### 5.6.7 Порядок испытаний

Если для испытаний необходимы постоянные значения параметров, требуемые значения должны быть стабилизированы до выполнения испытания.

Стабилизация определяется следующим образом (для параметров давления и температуры):

- давление: изменение в течение 1 ч в пределах  $\pm 1\%$  от испытательного давления;

- температура: изменение в течение 1 ч в пределах  $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  от испытательной температуры.

#### 5.6.8 Проверка после испытаний

Об оценках отказов и нарушений необходимо сообщать. Все соответствующие компоненты необходимо фотографировать. Исполнительная документация (см. 5 см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)) должна включать письменное описание всех дефектов, которые были обнаружены в испытательном образце и привели ли такие дефекты к нарушению проектных критериев.

#### 5.6.9 Документация

Результаты испытаний должны быть оформлены в соответствии с



ГОСТ 15.309.

#### 5.6.10 Эксплуатационная пригодность результатов

Испытания должны быть выполнены и оформлены таким образом, чтобы результаты можно было применить на последующих этапах проектирования.

#### 5.6.11 Промежуточные результаты

Результаты всех испытаний, включая результаты на промежуточных этапах, должны сравниваться с аналитическими результатами согласно программе проектирования. Несоответствия необходимо фиксировать.

#### 5.6.12 Действительность результатов испытаний

Результаты испытаний действительны, только если существенные изменения процесса (порядка испытаний, проектирования или производства) не отменяют результаты.

#### 5.6.13 Многократные испытания

Простые образцы могут проходить многократные испытания путем неразрушающих испытаний, выполняемые до разрушающих испытаний. Последовательность испытаний должна выбираться таким образом, чтобы более ранние испытания не влияли на результаты последующих испытаний.

#### 5.6.14 Повторяемость результатов

При испытании отдельного образца, проектные параметры и параметры технологических допусков, которые влияют на характеристики, должны учитываться при определении допустимых пределов применения оборудования.

### **5.7 Производство**

#### 5.7.1 Общие сведения

5.7.1.1 Нормативные положения ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) представляют собой требования к производству для вспомогательного оборудования гибких трубопроводов.

5.7.1.2 В данном разделе даны общие рекомендации по маркировке и хранению вспомогательного оборудованию гибких трубопроводов. Руководства по маркировке дополняют минимальные требования к маркировке, данные в см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 5.7.2 Производственные процессы

5.7.2.1 Периодичность испытаний для определения размеров, подгонки и сборки, и их сложность для серийных компонентов из литых полимеров, данная в см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), составляет 5% от общего производства.

5.7.2.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы болты затягивались в соответствии с РД 37.001.131 [5]. Производитель должен гарантировать, что используется оборудование, обеспечивающее правильную затяжку болтов.

#### 5.7.3 Допуски

В последующих пунктах о допусках в данном стандарте даны определенные руководства по выбору допусков на изготовление (рассматриваемое вспомогательное оборудование см. в пункте 5.5.5 и последующих подпунктах о допусках на изготовление в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 5.7.4 Маркировка

5.7.4.1 Нормативные положения ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) представляют минимальные требования к маркировке вспомогательного оборудования гибких трубопроводов. Целью данного пункта является предоставление рекомендаций по дополнительной маркировке, которая может наноситься на вспомогательное оборудование.

5.7.4.2 Система маркировки должна быть достаточной для сопротивления истиранию при установке и эксплуатации, с буквами и цифрами с минимальной высотой 10 мм. Вся маркировка на подводном вспомогательном оборудовании должна быть достаточно четкой, чтобы ее можно было прочесть и/или распознать на месте с помощью ТНПА, и она должна быть рассчитана на весь срок службы в расчетных условиях.

5.7.4.3 Если позволяет место, допускается наносить следующую дополнительную маркировку:

- наименование или номер проекта;
- наименование эксплуатирующей организации;
- дата производства.

#### 5.7.5 Хранение

5.7.5.1 Вспомогательное оборудование необходимо хранить в условиях окружающей среды, которые не влияют на рабочие характеристики и соответствуют требованиям производителя к хранению.

В частности, рекомендуются следующие условия:

- температура хранения должна быть в допустимых пределах для всех компонентов вспомогательного оборудования;

- необходимо защитить области, подверженные механическим воздействиям.

- объем и влияние солнечного света должны быть в пределах, указанных производителем. По возможности, вспомогательное оборудование с материалами, чувствительными к солнечному свету, такими как полимеры и композиты, должно быть с покрытием, защищающим от ухудшения при воздействии УФ излучения;

- необходимо избегать воздействия любых химических веществ, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на оборудование.

Требования к хранению должны определять допустимые уровни для каждого из компонентов, перечисленных выше.

5.7.5.2 Перемещение изделия во время хранения должно быть сведено к минимуму.

5.7.5.3 Ремонтные работы, выполняемые во время хранения, должны производиться под стационарной или временной крышей, вместе с устройствами контроля за окружающей средой. Работы, выполняемые на площадке хранения, должны проходить под строгим контролем и выполняться таким образом, чтобы не повредить и не загрязнить изделия на хранении.

## **5.8 Погрузочно-разгрузочные работы, транспортировка и установка**

### **5.8.1 Общие сведения**

В данном разделе приведены общие руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам, транспортировке и установке вспомогательного оборудования.

### **5.8.2 Регистрация дефектов в документах**

Любые дефекты, которые случаются на любом этапе работы оборудования после поставки (хранение, погрузочно-разгрузочные работы, транспортировка, установка и эксплуатация гибкой трубы) должны регистрироваться в документации, а запись должна храниться с проектной документацией.

### 5.8.3 Погрузочно-разгрузочные работы

Все погрузочно-разгрузочное оборудование должно соответствовать следующим требованиям и дополнительным передовым методам работы на море и использоваться в соответствии с правилами и нормами соответствующих стандартов.

Примечание - Стандарты указаны в ГОСТ Р ИСО 13628 16 (проект).

### 5.8.4 Транспортировка

5.8.4.1 Данный пункт включает все перемещения частично или полностью изготовленного изделия, которые не являются обычной частью производственного процесса. Транспортные средства необходимо выбирать таким образом, чтобы снизить до минимума погрузочно-разгрузочные работы и возможность повреждения. Если требуется использование крана, кран должен быть полностью сертифицирован и пригоден в соответствии с требованиями к грузоподъемности.

5.8.4.2 Вспомогательное оборудование должно паковаться и транспортироваться таким образом, чтобы не повреждалось при транспортировке.

5.8.4.3 Компоненты, подверженные механическому воздействию, должны быть завернуты в подходящую обертку, например, пузырчатый упаковочный материал, чтобы защитить их поверхности от повреждения во время транспортировки.

### 5.8.5 Установка

5.8.5.1 В данном разделе представлены общие руководства и рекомендации по установке.

5.8.5.2 Оборудование, используемое для крепления и затяжки, должно калиброваться до установки, должны быть соответствующие сертификаты по калибровке. Крепления должны затягиваться в соответствии с РД 37.001.131 [5].

5.8.5.3 Вспомогательное оборудование должно устанавливаться в соответствии с описанными процедурами.

5.8.5.4 Все вспомогательное оборудование должно осматриваться до установки, чтобы проверить на наличие видимых дефектов, которые могли бы появиться после транспортировки.

5.8.5.5 Необходимо вести запись о натяжении каждого болта, и прилагаемого натяжения для каждой обвязки.

## **5.9 Управление целостностью**

### **5.9.1 Общие сведения**

5.9.1.1 В данном разделе представлены общие руководства и рекомендации по управлению целостностью вспомогательного оборудования гибкого трубопровода. Определенные руководства и рекомендации по управлению целостностью и возможным дефектам вспомогательного оборудования даны далее в данном стандарте.

### **5.9.2 Принципы проверки/мониторинга**

5.9.2.1 Должна быть установлена подробная программа управления целостностью на основании оценки типов нарушений, которым подвержены системы гибких трубопроводов (гибкая труба и вспомогательное оборудование), и риска, относящегося к нарушению от каждого источника.

5.9.2.2 Не исключается необходимость проектирования системы наблюдения для работы в течение расчетного срока службы в полевых условиях или сокращенного периода времени, на одном или нескольких динамических райзерах или подводных трубопроводах с соответствующим вспомогательным оборудованием.

### **5.9.3 Объем и цели**

В данном разделе указаны объемы и цели управления целостностью.

### **5.9.4 Организация программы проверок/мониторинга**

5.9.4.1 Возможные типы неисправностей должны быть указаны при проектировании для вспомогательного оборудования. Функциональные и эксплуатационные требования к вспомогательному оборудованию необходимо принять во внимание при оценке возможных типов неисправностей.

5.9.4.2 Анализ риска должен количественно определять риск, относящейся к каждому типу неисправностей. Организация стратегии проверок/мониторинга должна соответствовать степени необходимого мониторинга или проверок для расчетного уровня риска.

5.9.4.3 Имеющиеся прямые или косвенные методы проверки/доступа к вспомогательному оборудованию должны быть оценены в отношении их пригодности для целевого применения. Более того, в проекте вспомогательного оборудования должны быть представлены соответствующие положения для облегчения наблюдения за вспомогательным оборудованием и за соответствующей верхней частью и подводными объектами.

5.9.4.4 Наблюдение за целостностью должно проводиться на заводе с тщательной проверкой, контролем качества. Работы по установке должны тщательно планироваться, чтобы предотвратить повреждения от погрузочно-разгрузочного оборудования.

#### 5.9.5 Рассмотрение программы проверок/мониторинга

Программа проверок/мониторинга подлежит регулярному рассмотрению в течение срока службы полевой системы гибкой трубы. Такое рассмотрение должно пересматривать методы и периодичность рассмотрения на основании результатов проверок или мониторинга, опыта работы с такой или подобной системой, или дополнительного изучения поведения вспомогательного оборудования. Записи в документации о процессе рассмотрения должны сохраняться в течение всего срока службы системы или срока службы каждой гибкой трубы в системе, если какие-либо трубы используются повторно.

#### 5.9.6 Типы неисправностей и возможные дефекты

5.9.6.1 Тип неисправности описывает один возможный процесс, который может привести к неисправности вспомогательного оборудования. Отдельный тип неисправности обычно представляет последующие дефекты, которые могут потенциально появляться при неисправности вспомогательного оборудования.

5.9.6.2 Далее в данном стандарте определены возможные дефекты, которые относятся к целостности определенного вспомогательного оборудования гибкой трубы. Каждый дефект нумеруется, и определяется вероятная причина и последствия дефекта.

5.9.6.3 Данными таблицами необходимо руководствоваться во время выбора программы управления целостностью. Это позволит определить особо важные компоненты в системе гибкой трубы и возможные критические дефекты, что,

позволит лучше определить требования и годность имеющихся методов мониторинга.

#### 5.9.7 Методы мониторинга

Осмотр – это основной метод мониторинга в ходе обслуживания. Если для определенного вспомогательного оборудования применяются другие методы мониторинга, они будут описаны далее.

#### 5.9.8 Обзор

Хотя методы и периодичность мониторинга или проверок должны определяться на основании результатов анализа рисков.

#### 5.9.9 Общие рекомендации

5.9.9.1 Подводный осмотр может выполняться водолазами или с помощью ТНПА. Необходимо производить периодические подводный осмотр и осмотр верхней части на наличие видимых повреждений вспомогательного оборудования в результате аварий, усталостных повреждений или повреждений во время установки. Вспомогательное оборудование должно проверяться после инцидентов с возможными повреждениями. После выполнения ремонтных работ вспомогательное оборудование необходимо проверить, чтобы подтвердить, что ремонт или замена были проведены правильно.

При осмотре необходимо определить следующие возможные проблемы:

- объем и тип морского обрастания;
- общая целостность и состояние;
- заметное загрязнение;
- состояние системы катодной защиты;
- видимое повреждение конструкций;
- дефект вспомогательного оборудования;
- соединение с другим подводным оборудованием.

5.9.9.2 Дефекты должны быть зафиксированы в документации с указанием типа, размера, расположения (указание трубы и координат), глубины и времени наблюдения. Необходимо оценить влияние дефектов на конструкционную целостность или герметичность конструкции (в соответствующих случаях).

5.9.9.3 Внешнюю поверхность вспомогательного оборудования необходимо проверить на наличие разрезов, выемок, истирания, выпуклостей и мягких участков.

5.9.9.4 Общий осмотр металлических компонентов должен включать проверку на наличие повреждений в защитном покрытии, которое может быть выщербленным или поцарапанным.

5.9.9.5 Исследование металлических компонентов должно выполняться для оценки состояния системы катодной защиты. Исследование системы катодной защиты должно включать общий осмотр всех анодов в системе катодной защиты. Оставшийся срок службы анодов должен определяться и сравниваться с оставшимся сроком службы вспомогательного оборудования/системы гибких трубопроводов.

5.9.9.6 При определении требований к окраске должна быть учтена необходимость того, чтобы оборудование было максимально видимым в подводных условиях, чтобы облегчить работу ТНПА, водолазов. Цвета должны выбираться таким образом, чтобы избежать отблеска при просмотре системой видеонаблюдения. Обычно для подводной морской среды выбирается желтый и оранжевый цвета.

#### 5.9.10 Периодичность проверок

Периодичность проверок должна основываться на учете типов отказов и оценки риска для системы гибких трубопроводов, включая вспомогательное оборудование.

## **6 Элементы жесткости на изгиб**

### **6.1 Область применения**

6.1.1 Данный раздел относится к статическим и динамическим элементам жесткости на изгиб, временным элементам жесткости на изгиб и стационарным элементам жесткости на изгиб.

6.1.2 Рекомендации данного раздела могут применяться для подводных кабелей. Необходимо отметить, что существуют некоторые определенные требования к элементам жесткости на изгиб для подводных кабелей. Рекомендации, относящиеся к внутренней среде и температуре внешней оболочки, могут не подходить для подводных кабелей.



## 6.2 Вопросы проектирования

### 6.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) представлены требования к проектированию элементов жесткости на изгиб. Целью данного пункта является разработка и предоставление руководств по проектированию элементов жесткости на изгиб в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный пункт относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- расчетные условия нагружения.

### 6.2.2 Обзор проектирования

Проектирование элемента жесткости на изгиб для определенных условий гибкой трубы представлено на схеме на рисунках 6.1 и 6.2 для статических и динамических элементов жесткости на изгиб, соответственно, и обычно выполняется на следующих этапах, представленных ниже:

а) материалы элементов жесткости на изгиб выбираются на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), в частности, требований к температуре. Руководства по выбору материалов см. в 6.3;

б) выполнение ряда статических и динамических анализов, в зависимости от конкретного случая, для гибкой трубы без элемента жесткости на изгиб. Таким образом представляются случаи чрезмерной нагрузки, для которых анализируется элемент жесткости на изгиб. Рекомендации по статическому анализу гибкой трубы даны в пунктах 5.2.1 и 8.2.3.2 ГОСТ Р ИСО 13628-11 [1];

в) основные параметры расчета элемента жесткости на изгиб - материал элемента жесткости, длина элемента жесткости и максимальный внешний диаметр элемента жесткости;

г) некоторые или все анализы этапа б) повторяются с включением спроектированного элемента жесткости на изгиб и реалистично смоделированного конечного соединения, в качестве общей проверки конструкции элемента жесткости. Общие руководства по анализу см. в 6.4.3;

д) конструкция соединения проектируется в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Рекомендации по проектированию конструкции

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

соединения см. в 6.2.6;

е) при необходимости, расчеты усталостного повреждения конструкции соединения выполняются в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

ж) полномасштабное испытание на статический изгиб выполняется в соответствии с 6.5.2;

и) полномасштабное испытание усталости динамического элемента жесткости на изгиб выполняется, если считается необходимым, в соответствии с 6.5.3.

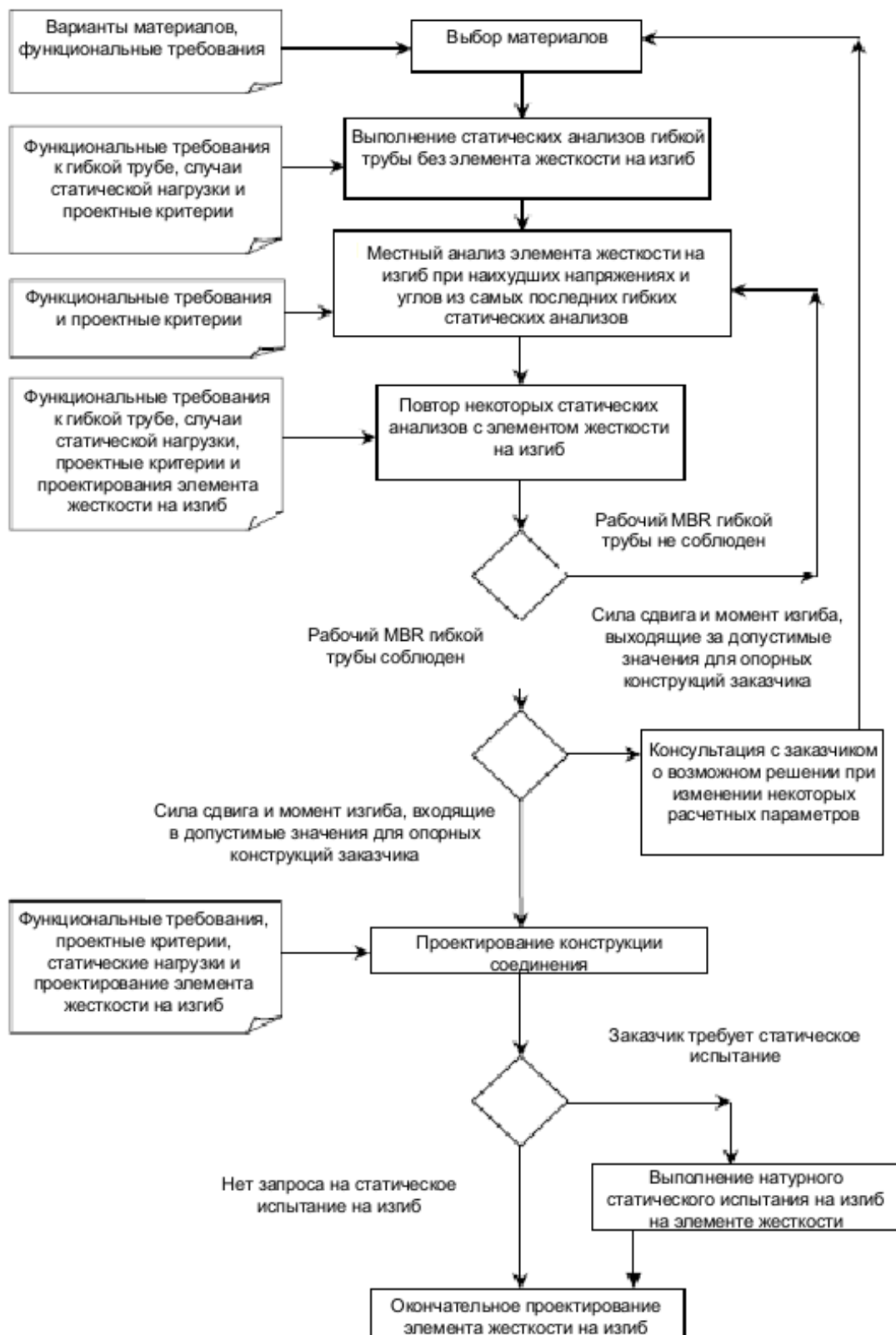


Рисунок 6.1 – Схема проектирования статического элемента жесткости на изгиб

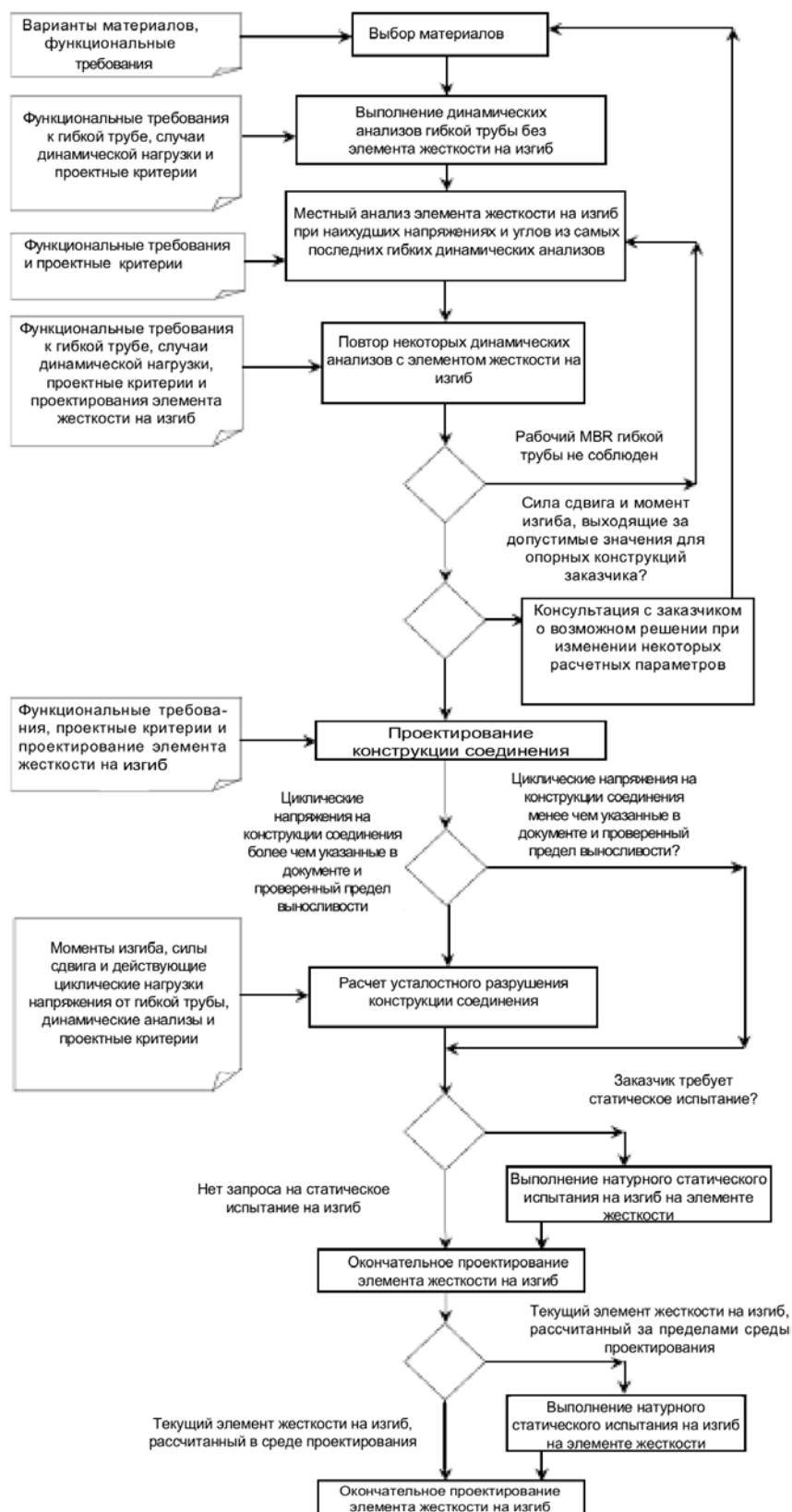


Рисунок 6.2 – Схема проектирования динамического элемента жесткости на изгиб

### 6.2.3 Повторное проектирование

6.2.3.1 В большинстве случаев, влияние конструкции элемента жесткости на изгиб на характер общего анализа небольшое. При определенных условиях, в частности для сочетания жестких условий окружающей среды и большой длины элемента жесткости на изгиб по отношению к коэффициенту глубины воды, общая проверка может показать, что критерии минимального радиуса изгиба нарушены или возрос момент изгиба сопряжения. В таком случае, процесс, указанный на рисунках 5.47 и 5.48 должен выполняться повторно в следующей последовательности:

- а) эффективное напряжение и данные угла взяты из анализа общей проверки;
- б) такое эффективное напряжение и данные угла являются вводными данными местного анализа элемента жесткости на изгиб для определения новой конструкции элемента жесткости на изгиб;
- в) выполняется дальнейший общий анализ проверки.
- г) если критерии минимального радиуса изгиба все еще не соблюдены, повторяются этапы а) - в) до достижения совмещения для определенного проекта элемента жесткости на изгиб.

6.2.3.2 Проектирование элемента жесткости на изгиб должно основываться на критериях гибкой трубы в противовес критериям минимального радиуса изгиба. Другими словами, общий анализ проверки может показать, что критерии усталостного ресурса гибкой трубы не соблюдены, даже если элемент жесткости на изгиб удовлетворяет критериям минимального радиуса изгиба. В таких случаях исходить из минимальных размеров элемента жесткости на изгиб, необходимых, чтобы удовлетворить критериям усталостного ресурса гибкой трубы.

### 6.2.4 Связь корпуса элемента жесткости на изгиб с конструкцией соединения.

Элемент жесткости на изгиб должен проектироваться таким образом, чтобы напряжения в зонах связки были минимальны, а коррозия в такой зоне была бы предотвращена. Целостность связи пострадает при коррозии конструкции соединения (см. 6.2.8.1). Один способ проектирования элемента жесткости на изгиб - это оценка чувствительности конструкции к определенным дефектам соединения. Дефект соединения может быть определен его размерами, геометрией и расположением. При таком подходе, элемент жесткости на изгиб должен соответствовать проектным критериям при проанализированных дефектах

соединения. Наибольшие повреждения будут в месте перехода между связанной и не связанной частями трубопроводов. Характеристики соединения могут быть продемонстрированы при испытаниях в малом масштабе.

#### 6.2.5 Проектирование корпуса элемента жесткости на изгиб

Зазор между внутренними диаметрами корпуса элемента жесткости на изгиб и внешним диаметром гибкой трубы должен быть таким, чтобы эффективные напряжения гибкой трубы не передавались на корпус элемента жесткости на изгиб, если только передача такого напряжения не была учтена в проекте корпуса элемента жесткости на изгиб. Однако зазор не должен быть таким большим, чтобы пострадала защита гибкой трубы в такой степени, при которой критерии минимального радиуса изгиба не соблюдаются. Допуски по внешнему диаметру гибкой трубы должны учитываться для соблюдения таких требований.

#### 6.2.6 Проектирование конструкции соединения

6.2.6.1 Производитель должен определить необходимый диаметр болтовой окружности болтов с подстроечным конусом, размер болтов и количество крепежных элементов для опорной конструкции, которые подходят для нагрузок, передающихся элементом жесткости на изгиб.

6.2.6.2 Может потребоваться промежуточная конструкция для соединения конструкции соединительной с опорной конструкцией. Таким образом можно избежать ситуации, когда размеры элемента жесткости на изгиб, необходимые для сопряжения с опорной конструкцией, больше, чем должны быть, чтобы соблюсти требования по нагрузке. Устройство опорной конструкции должно быть завершено как можно раньше, чтобы избежать изменений устройства элемента жесткости на изгиб на дальнейших этапах.

6.2.6.3 Согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требуется, чтобы конструкция соединения не повреждала гибкую трубу. Как показано на рисунке 6.3, металлические части элемента жесткости на изгиб могут контактировать с гибкой трубой и повреждать ее из-за относительного движения между двумя поверхностями. Такого повреждения можно избежать, устранив относительное движение между конструкцией соединения и гибкой трубой, предотвратив, таким образом, истирание гибкой трубы на краях конструкции соединения. Защитный

материал покрытия может наноситься на зоны конструкции соединения, которые будут соприкасаться с гибкой трубой.

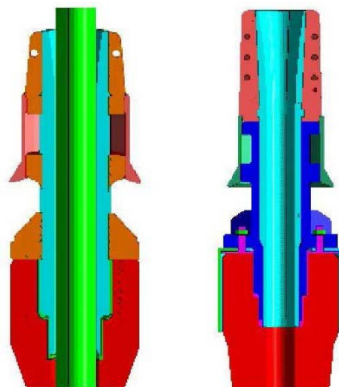


Рисунок 6.3 – Контакт между металлическими частями элемента жесткости на изгиб и гибким трубопроводом

6.2.6.4 Защитное расширяющееся покрытие может использоваться внутри для покрытия всех металлических частей, которые могут, при неблагоприятных условиях установки, эксплуатации, проверки или извлечения, соприкасаться с гибкой трубой, если корпус элемента жесткости на изгиб не может играть эту роль. Пример такого покрытия показан на рисунке 3.3.

#### 6.2.7 Проектирование элемента жесткости на изгиб I/J-образной трубы

6.2.7.1 Чтобы предотвратить нецентрированность и вибрацию, зазор между колпаком элемента жесткости на изгиб и раструбом должен быть сокращен до минимума, чтобы добиться совместимости с допусками, условиями установки и допусками раструба.

6.2.7.2 Если диаметр металлического колпака негабаритный из-за требований к сопряжению с раструбом I/J-образной трубы, пространство между внешним диаметром корпуса элемента жесткости на изгиб и внутренним диаметром колпака может быть заполнено полимерным материалом. Такая мера обеспечивает дополнительную опорную поверхность для внешней поверхности корпуса элемента жесткости на изгиб, когда закрепляется элемент жесткости на изгиб. Таким образом минимизируются деформации по поперечному сечению путем укрепления конструкции. Такое укрепление, должно быть рассчитано так, чтобы предотвратить крупные переходы жесткости.

6.2.7.3 Стопор можно установить ниже конца элемента жесткости на изгиб, чтобы предотвратить чрезмерное выпадение элемента жесткости на изгиб с гибкой трубы. Положение стопора не должно мешать окружающим трубам и подводным кабелям, чтобы в случае воздействия не вызывать повреждения. Если элемент жесткости на изгиб упадет, удар по стопору не должен привести к повреждению внешней оболочки трубы или к отделению элемента жесткости на изгиб.

#### 6.2.8 Коррозионная защита

6.2.8.1 В дополнение к требованиям ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), необходимо уделить особое внимание коррозионной защите такой области конструкции соединения, которая связывает ее с корпусом элемента жесткости на изгиб, поскольку коррозия ухудшает целостность связи. Элемент жесткости на изгиб должен проектироваться таким образом, чтобы минимизировать попадание воды в связанные области. В конечном счете, вода всегда будет поглощаться через место соединения. Однако, если напряжение в данных областях минимизировано, ухудшение качества соединения менее вероятно. Использование коррозионностойких материалов для конструкции соединения может гарантировать, что коррозия не будет влиять на целостность конструкции.

6.2.8.2 Особое внимание необходимо уделить при проектировании систем коррозионной защиты металлическим компонентам, которые не видно снаружи во время проверок целостности, так как невозможно следить за степенью коррозии (если есть) на таких компонентах после установки.

6.2.8.3 Невозможно привести соединительные конструкции элементов жесткости на изгиб в соответствии со специальной системой катодной защиты, так как большая часть поверхности конструкции соединения заделана в корпусе элемента жесткости на изгиб, а внешняя поверхность крепится к опорной конструкции. Таким образом, элемент жесткости на изгиб обычно защищается прилегающей системой катодной защиты в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

6.2.8.4 Коррозионностойкие материалы для металлических компонентов конструкции соединения должны учитываться для следующих условий:

- для компонентов со сложной или закрытой геометрией, включая конструкции соединения и крепления.
- в местах, где катодная защита может работать не соответствующим образом или отсутствует.

#### 6.2.9 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у элементов жесткости на изгиб



представлены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Возможные дефекты элемента жесткости на изгиб

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
5.1	Неисправность корпуса элемента жесткости на изгиб	<p>а) Возможная потеря элемента жесткости на изгиб, чрезмерный изгиб или возможное повреждение гибкой трубы</p> <p>б) Возможное повреждение прилегающих линий в результате воздействия острых краев, получившихся при повреждении</p>	<p>а) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>с) Усталостная поломка</p> <p>д) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</p> <p>е) Старение материала из-за влияния:</p> <p>1) солнечного света (только поверхностные элементы жесткости на изгиб)</p> <p>2) озона (только поверхностные элементы жесткости на изгиб)</p> <p>3) морской воды</p> <p>4) высокой температуры</p> <p>ф) Ползучесть (используется только для элемента жесткости на изгиб, на который воздействует постоянная нагрузка из-за</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери элемента жесткости на изгиб на защиту MBR гибкой трубы</p> <p>б) Извлечение элемента жесткости на изгиб, если он представляет риск для целостности системы гибкой трубы</p> <p>с) При необходимости, замена элемента жесткости на изгиб либо на месте, либо после извлечения гибкой</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Изменение конструкции, напр., увеличение основания или длины корпуса элемента жесткости на изгиб</p> <p>с) Изменение распределения нагрузки в корпусе элемента жесткости на изгиб</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>размещения за пределами его среднего ненапряженного положения из-за угла выхода гибкой трубы из опорной g) конструкции)                      h) Неправильная конструкция Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки или установки</p>	<p>трубы. Замена на месте может потребовать разъемной конструкции элемента жесткости на изгиб</p>	
5.2	Неисправность конструкции соединения	Последствия в соответствии с 5.1	<p>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16)                      b) Усталостная поломка                      c) Коррозия                      d) Неисправность сварного соединения                      e) Заводской брак (напр. дефект сварного узла)                      f) Водородная хрупкость                      g) Неправильная конструкция                      h) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)</p>	<p>Меры по исправлению в соответствии с 5.1 a) - c)</p>	<p>a) Выбор материалов                      b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины и размеров                      c) Проектирование системы катодной защиты                      d) Изменение распределения нагрузки в конструкции</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
5.3	Неисправность креплений конструкции соединения	<p>а) Последствия в соответствии с 5.1 а)</p> <p>б) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления</p>	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Усталостная поломка</p> <p>в) Коррозия</p> <p>г) Заводской брак</p> <p>д) Водородная хрупкость</p> <p>е) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)</p> <p>ж) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)</p>	Если разрешен доступ, может быть возможно установить сменные крепления	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Увеличение размера крепления</p> <p>в) Проектирование системы катодной защиты</p> <p>г) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов</p>
5.4	Гибкая труба недостаточно защищена от чрезмерного изгиба	Чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</p> <p>в) Старение материала из-за влияния:</p> <p>1) солнечного света (только поверхностные элементы жесткости на изгиб)</p> <p>2) озона (только поверхностные элементы жесткости на изгиб)</p> <p>3) морской воды</p>	Меры по исправлению в соответствии с 5.1 б) и в)	Проектные решения/изменяемые параметры в соответствии с 5.1 а) и б)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			4) высокой температуры d) Неправильная конструкция.		
5.5	Расслоение связи между конструкцией соединения и корпусом элемента жесткости на изгиб	Последствия в соответствии с 5.1	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Коррозия области конструкции соединения, которая связана с корпусом элемента жесткости на изгиб.</p> <p>с) Заводской брак:</p> <p>1) неправильная обработка поверхности конструкции соединения,</p> <p>2) неправильный выбор связывающего раствора,</p> <p>3) повреждение связующих поверхностей,</p> <p>4) связывающие поверхности загрязнены пылью, грязью и т.д.</p> <p>5) неправильное покрытие связывающим раствором,</p> <p>б) конструкция соединения с нанесенным связывающим раствором оставлена слишком надолго перед</p>	Меры по исправлению в соответствии с 5.1 а) - с)	<p>a) Выбор решения по обвязке</p> <p>b) Увеличение размера крепления</p> <p>с) Изменение распределения нагрузки в зоне связи</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			закреплением. d) Старение полимерного материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры, приводящее к ухудшению связи Неправильная конструкция (напр., область связи подвергается чрезмерным напряжениям)		
5.6	Соскальзывание внутренней муфты (только для элементов жесткости на изгиб, состоящих из двух частей)	Возможная потеря части элемента жесткости на изгиб, чрезмерный изгиб или возможное повреждение гибкой трубы	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 11 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Усталостная поломка внутренней муфты фиксирующих креплений c) Коррозия внутренней муфты фиксирующих креплений d) креплений e) Заводской брак f) Водородное охрупчивание внутренней муфты фиксирующих креплений Неправильная конструкция	a) Установка хомута для предотвращения дальнейшего соскальзывания b) Модификация или замена элементов жесткости на изгиб	Изменение конструкции фиксирующих креплений

#### 6.2.10 Проектные критерии

6.2.10.1 Общие рекомендации по проектным критериям даны в 5.3.6. В данном разделе даны руководства и рекомендации, относящиеся к критериям рабочего минимального радиуса изгиба элемента жесткости на изгиб.

6.2.10.2 Местный анализ элемента жесткости на изгиб должен учитывать любое влияние геометрии наконечника элемента жесткости на изгиб, где имеется переход от конического профиля к цилиндрическому профилю. Это может происходить особенно в случае с гибкими трубами и подводными кабелями низкой жесткости, из-за наличия сравнительно большой разницы между жесткостью изгиба наконечника и незащищенной гибкой трубы или подводного кабеля. Это может привести к нарушению критерия минимального радиуса изгиба. Во избежание такой ситуации, конструкция конца должна быть изменена, чтобы снизить разницу жесткости.

6.2.10.3 Подпункты 6.4.5 - 6.4.6 представляют более подробное обсуждение анализа срока службы, включая расчеты ползучести и усталости. Критерии расчетов усталости указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 6.2.11 Случаи нагрузки

Согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требуется, чтобы случаи расчетной нагрузки элемента жесткости на изгиб включали все возможные случаи нагрузки гибкой трубы. Случаи нагрузки элемента жесткости на изгиб даны с учетом сочетаний эффективного напряжения  $T$  и изменений угла  $\theta$  от среднего ненапряженного положения для гибкой трубы, как схематически показано на рисунке 6.5.

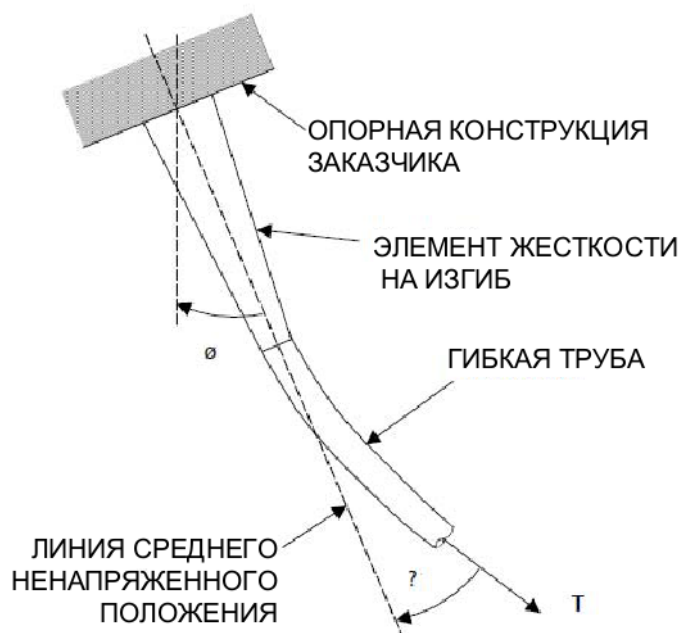


Рисунок 6.5– Нагрузки элемента жесткости на изгиб

Такие сочетания напряжения и угла возникают в результате движений платформы/судна в условиях окружающей среды, включая волны и течения. Элемент жесткости на изгиб может изначально предполагать угол  $\varphi$  по отношению к вертикали его среднего положения. Необходимо отметить, что изменение угла  $\theta$  относится к среднему ненапряженному положению. Фактический верхний угол гибкой трубы может обычно изменяться до  $2^\circ$  от теоретического угла из-за допусков по расположению установки и, таким образом, таблица 11 в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) включает его, как нагрузку, которая учитывается для проектирования элемента жесткости на изгиб. Сочетания эффективного напряжения и изменения угла должны выбираться таким образом, чтобы учесть все случаи нагрузки гибкой трубы. Случаи нагрузки эффективного напряжения/угла должны рассматриваться для диапазона температур материала элемента жесткости на изгиб в работе.

## 6.3 Материалы

### 6.3.1 Общие сведения

В данном разделе указаны материалы, которые используются в элементах жесткости на изгиб, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.



### 6.3.2 Полимерные материалы

6.3.2.1 Корпуса элементов жесткости на изгиб производятся из полиуретанового эластомера. Свойства этого материала, благодаря которым он годится для такого применения, - низкий модуль и большое удлинение к моменту разрыва. На рисунке 6.6 показан пример кривой зависимости деформаций от нагрузок полиуретана элемента жесткости на изгиб, наложенной на кривую зависимости деформаций от нагрузок легированной стали. На кривых можно увидеть, что секущий модуль будет различным в зависимости от того, какое значение деформации выбрать. Также в настоящее время предлагаются элементы жесткости на изгиб с корпусами, армированными волокном.

СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНА - КРИВАЯ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

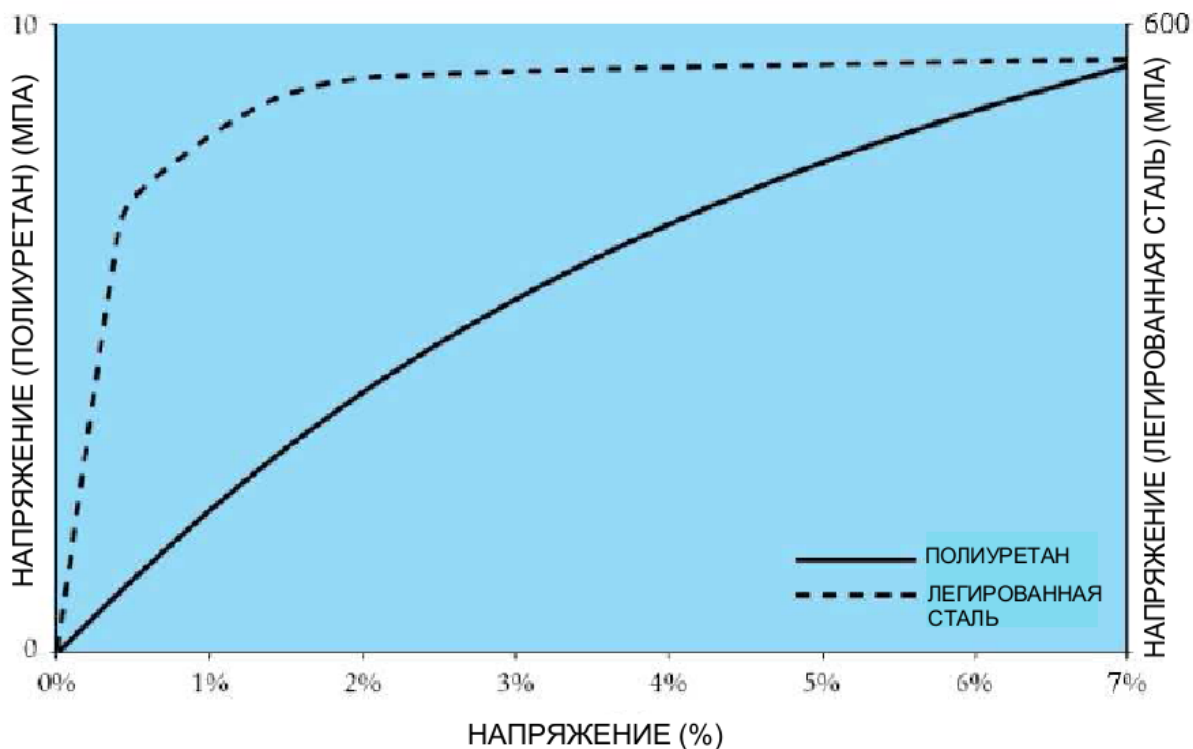


Рисунок 6.6 – Кривая зависимости деформаций от нагрузок полиуретана элемента жесткости на изгиб

6.3.2.2 Материалы элемента жесткости на изгиб должны демонстрировать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды (даже если на элементы жесткости на изгиб воздействуют струи воды);

- сопротивление гидролизу;
- ограниченное ухудшение свойств в результате старения;
- хорошая работоспособность в указанном диапазоне температур (учитываемом для температуры внутренней среды гибкой трубы и наружной температуры воздуха и моря);
- способность переносить циклические нагрузки (только динамические элементы жесткости на изгиб).

6.3.2.3 Должны выбираться материалы для элементов жесткости на изгиб, способные выдерживать температуры в результате контакта с внешней оболочкой гибкой трубы в течение срока службы, в сочетании с постоянным контактом с морской водой (когда элемент жесткости на изгиб находится под водой). Температура внешней оболочки - важный параметр для применения, в котором гибкая труба транспортирует среду с высокой температурой. Воздействие сравнительно высоких температур и контакт с морской водой ухудшит свойства материала. Таким образом, материал должен иметь определенный уровень характеристик после ухудшения к концу срока службы.

6.3.2.4 Материал элемента жесткости на изгиб должен выдерживать циклические отклонения и нагрузки в течение продленного периода времени, в некоторых случаях до 30 лет. Такие отклонения и нагрузки возникают из-за нагрузок волн и течений на платформу/судно, к которым прикреплен элемент жесткости на изгиб напрямую или через гибкий райзер.

### 6.3.3 Металлические материалы

Конструкция соединения обычно производится из конструкционной углеродистой стали высокой прочности, если имеется прилегающая система катодной защиты. В противном случае, необходимо использовать коррозионноустойчивый материал.

### 6.3.4 Альтернативные материалы

Допускается использовать конструкции элементов жесткости на изгиб, в которых используется композитные материалы, армированные волокнами.

## 6.4 Вопросы анализа

### 6.4.1 Общие сведения

Целью данного подпункта является предоставление рекомендаций по способам анализа элемента жесткости на изгиб.

### 6.4.2 Местный анализ

6.4.2.1 Местное проектирование корпуса элемента жесткости на изгиб обычно выполняется таким специальным пакетом программ, который анализирует элемент жесткости на изгиб и соответствующую длину возможной гибкой трубы отдельно. Включение гибкой трубы в модель необходимо, поскольку осевая сила в трубе и жесткость изгиба в трубе оказывают сильное влияние на поведение объединенной сборки.

6.4.2.2 Обычные исходные данные для программного обеспечения включают сочетания напряжения и углов, полученные из общего анализа системы гибкой трубы, свойства гибкой трубы, допустимый MBR гибкой трубы и свойства материала корпуса элемента жесткости на изгиб. Программное обеспечение должно позволять вводить нелинейные кривые зависимости деформаций от нагрузок для материала корпуса элемента жесткости на изгиб и должно позволять вводить нелинейные свойства гибкой трубы.

6.4.2.3 Обычно программное обеспечение рассчитывает или проверяет размеры корпуса элемента жесткости на изгиб, нагрузки (момент изгиба и силы сдвига), передаваемые на опорную конструкцию, напряжения и деформации в элементе жесткости на изгиб и отклоняемый профиль элемента жесткости на изгиб. Если элемент жесткости на изгиб проектируется на местном основании, следующим этапом является проверка конструкции, путем включения в общий анализ (см. 6.4.3).

6.4.2.4 Программное обеспечение трехмерного анализа методом конечных элементов должно использоваться для местного анализа элементов жесткости на изгиб, чтобы успешно заверить методики проектирования элементов жесткости на изгиб, когда локализованная геометрия требует моделирования.

6.4.2.5 При использовании программного обеспечения трехмерного анализа методом конечных элементов можно моделировать определенные воздействия, что невозможно при других методах, включая следующее:

- моделирование контакта между гибкой трубой и элементом жесткости на изгиб;
- многомерное распределение напряжений в элементе жесткости;
- влияние конфигурации соединительной арматуры.

#### 6.4.3 Общий анализ

6.4.3.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы расчет элемента жесткости на изгиб проверялся в общем анализе гибкой трубы. Элемент жесткости на изгиб обычно моделируется в общем методе конечных элементов серией балочных элементов с площадью сечения, которое изменяется от внешнего диаметра основания корпуса элемента жесткости на изгиб до внешнего диаметра конца. Другие обычные исходные данные включают внутренний диаметр элемента жесткости на изгиб, его массу и его зависимость деформации от напряжения.

6.4.3.2 Райзеры, которые в отношении элементов жесткости на изгиб служат ограничителем изгиба на соединении судна/платформы, могут в общем анализе обрабатываться двумя способами. В первом подходе райзер полностью крепится на судне/платформе на основании элемента жесткости на изгиб с соответствующим углом при четком моделировании элемента жесткости на изгиб в общем анализе. Другой подход - скрепление (свободное вращение) райзера на судне/платформе на подвесной конструкции, а элемент жесткости на изгиб не включается в общий анализ.

6.4.3.3 В случае первого подхода, данные о напряжении и изгибе в элементе жесткости на изгиб от общего анализа могут передаваться к инструменту местного анализа для расчета напряжений. В случае модели с соединением, скрепленным на судне, данные по углу вращения и напряжению могут передаваться для инструмента местного анализа для расчета напряжений (или, в некоторых случаях, для промежуточной модели, которая используется для преобразования данных напряжения угла в данные напряжения-искривления). При втором подходе инструмент местного анализа состоит из усеченной модели стояка в области элемента жесткости на изгиб, и

используются углы из общего анализа для прогнозирования искривления элемента жесткости на изгиб, и, следовательно, напряжений.

6.4.3.4 Оба этих способа хорошо известны и широко применяются в промышленности, и ни один из них не является предпочтительным. Рекомендуется проверять полученные данные разными способами расчета в отношении прогнозируемого искривления для выбранных случаев нагрузки.

6.4.3.5 Данные угла напряжения также берутся от модели, в которую четко включен элемент жесткости на изгиб. В таком случае, данные должны браться от точки ниже элемента жесткости, где влияние решения по связыванию пренебрежимо мало. Три длины элемента жесткости на изгиб вниз от подвесной конструкции достаточно.

6.4.3.6 Нелинейное моделирование материала элемента жесткости на изгиб должно выполняться в общем анализе, поскольку линейный анализ не будет выполнен с запасом для всех случаев расчетной нагрузки. Например, с учетом элемента жесткости при его минимальной жесткости и при выполнении линейного анализа, не будет показано, будет ли превышено искривление трубы на конце элемента жесткости на изгиб при сочетаниях низкого напряжения/крутого угла. И наоборот, с учетом элемента жесткости при его максимальной жесткости и при выполнении линейного анализа, не будет показано, будет ли превышено искривление трубы (или допустимая деформация материала элемента жесткости на изгиб) на основании элемента жесткости на изгиб при случаях нагрузки высокого напряжения/крутого угла. С учетом двух линейных анализов с минимальной и максимальной жесткостью, значения не покажут правильные кривизны трубы в середине элемента жесткости на изгиб. Нелинейное моделирование в программе общего анализа обычно применяется при сопоставлении кривой зависимости деформаций от нагрузок (см. рисунок 6.6), которая является репрезентативной для материала корпуса элемента жесткости на изгиб при конкретной температуре для элементов в модели, представляющих элемент жесткости на изгиб.

#### 6.4.4 Термический анализ

6.4.4.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы производитель учитывал влияние температуры на поведение элемента жесткости на изгиб. Следующие

параметры влияют на температурный градиент в корпусе элемента жесткости на изгиб, вызванный гибкой трубой:

- температура окружающего воздуха или морской воды в зависимости от обстоятельств;
- влияние изоляции слоев гибкой трубы;
- зазор между корпусом элемента жесткости на изгиб и гибкой трубой, который может заполняться морской водой или воздухом в зависимости от нахождения элемента жесткости на изгиб;
- влияние изоляции самого элемента жесткости на изгиб;
- влияние нагревания от прямых солнечных лучей в соответствующих случаях.

6.4.4.2 Необходимо учесть, что элемент жесткости на изгиб будет в некоторой степени изолировать гибкую трубу, и это нужно учесть при использовании с относительно высокими температурами внутренней среды, чтобы оценить, может ли такая изоляция увеличить температуры в слоях гибкой трубы выше допустимых уровней. В определенных случаях может потребоваться предусмотреть системы охлаждения в зоне элемента жесткости на изгиб.

#### 6.4.5 Анализ ползучести

6.4.5.1 В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к анализу ползучести элементов жесткости на изгиб. Общие руководства по анализу ползучести см. в 5.5.5.

6.4.5.2 Ползучесть в результате статического изгиба элемента жесткости на изгиб, не выравненная по среднему положению гибкой трубы, может произойти в случае с динамическими элементами жесткости на изгиб. Это происходит из-за того, что большинство времени условия окружающей среды будут благоприятные, а отклонения от среднего положения будут сравнительно небольшие. Ползучесть, вызванная постоянной нагрузкой от статических сдвигов, можно предотвратить, установив такие конструкции, как трубные вставки, примыкающие к элементу жесткости на изгиб, чтобы выровнять его по углу гибкой трубы в его среднем положении.

6.4.5.3 Определенные статические элементы жесткости на изгиб двигаются при работе около своего среднего положения. Такое движение невелико по амплитуде в сравнении с динамическим элементом жесткости на изгиб, и при нем ползучесть не нужно учитывать в процессе проектирования, при условии, что элемент жесткости на изгиб выровнен по углу гибкой трубы в своем среднем положении.

#### 6.4.6 Анализ усталости

6.4.6.1 В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны циклические нагрузки, включая вибрации, вызванные вихреобразованием, которые необходимо учесть в расчетах усталостного повреждения конструкции соединения. Влияние вибрации, вызванной вихреобразованием, на усталостную нагрузку зависит от географического положения. Зоны мира, в которых могут быть сильные течения (свыше 2 узлов), наиболее критичны для вибраций, вызванных вихреобразованием.

6.4.6.2 Усталостные нагрузки, воздействующие на корпус элемента жесткости на изгиб, - это цикличные моменты изгиба и силы сдвига в результате движения гибкой трубы. Если работа полимерных или композитных материалов элемента жесткости на изгиб ниже установленных и задокументированных пределов прочности, расчеты усталостного повреждения не требуется. Рекомендуемая испытательная частота для небольшого усталостного испытания для учета работающих частот – 0,1 Гц. Усталостная характеристика корпуса элемента жесткости на изгиб при необходимости может быть продемонстрирована полномасштабными испытаниями на усталость элемента жесткости на изгиб (см. 6.5.3). Поскольку поведение материала в полномасштабном элементе жесткости на изгиб может отличаться от образца в уменьшенном масштабе, может быть трудно определить усталостный ресурс другим способом, кроме полномасштабных испытаний. Усталостная характеристика также может быть продемонстрирована аналитически при разработке графика диапазона деформаций в отношении количества циклов. Однако такой подход должен быть полностью заверен проверкой с полномасштабным испытанием. Испытания на усталость должны выполняться по требованию (см. 5.6.3.1).

6.4.6.3 Полимерный материал элемента жесткости на изгиб демонстрирует изменение свойств материала при изменении температуры. В отношении характерной

жесткости, материал становится менее жестким при увеличении температуры. Касательно элемента жесткости на изгиб, значительное увеличение температуры может воздействовать на полимерный материал, если он подвергается частому циклическому изгибу. Это приводит к меньшей жесткости изгиба, что, в свою очередь вызывает большие деформации и кривизну элемента жесткости на изгиб и гибкой трубы/подводного кабеля. Проектирование элемента жесткости на изгиб должно учитывать такое поведение.

6.4.6.4 Полимерный материал элемента жесткости на изгиб может учитываться для сравнительно высоких значений деформации при редком циклическом сгибании и при отсутствии значительного усталостного повреждения. Оно аналогично пределу прочности или кривым усталости S-N, которые не повторяют такое же выделение теплоты, которое можно наблюдать при полномасштабных испытаниях на усталость элемента жесткости на изгиб. Если циклическое изгибание происходит часто, такой предел прочности или количество циклов до отказа, как показывает соответствующая кривая усталости, значительно падает.

6.4.6.5 Данные усталостной нагрузки значительно влияют на размер конструкции соединения. Может потребоваться выполнение анализа усталости после производства. По возможности следует выполнять анализ усталости до производства. Хотя в таких случаях важно иметь достаточный допуск и консервативные предположения для проектирования элемента жесткости на изгиб, чрезмерно консервативные данные по усталостной нагрузке могут привести к излишне усложненному проектированию элемента жесткости на изгиб.

## **6.5 Испытания опытного образца**

### **6.5.1 Применение испытаний опытного образца**

Параметры, которые необходимо учесть при запросе испытания опытного образца, в соответствии с 5.6.3:

- расчетные нагрузки, включая циклические искривления и циклические деформации корпуса элемента жесткости на изгиб;

- расчетная температура;

- материалы;



- процесс(ы) изготовления;
- внутреннее давление гибкой трубы.
- диапазон циклического внутреннего напряжения в гибкой трубе;
- внутренний и внешний диаметры гибкой трубы;
- длина и диаметр основания гибкой трубы;
- интерфейс конструкции соединения.

Обычно гибкая труба расширяет расчетные пределы и, таким образом, испытания опытного образца элемента жесткости на изгиб, как правило, выполняются в связи с испытанием опытного образца гибкой трубы.

#### 6.5.2 Испытание на статический изгиб

##### 6.5.2.1 Описание

Целью испытания на статический изгиб является проверка того, что элемент жесткости на изгиб отклоняется до того же профиля, который прогнозировался на этапе проектирования, и что критерии минимального радиуса изгиба гибкой трубы соблюдены.

##### 6.5.2.2 Порядок

Элемент жесткости на изгиб подвергается воздействию определенного сочетания напряжения и угла, которое является репрезентативным для наиболее чрезвычайных условий, встречающихся в работе, если это позволяет сделать испытательное оборудование. Если у испытательного оборудования имеется ограничение по нагрузке, которое ограничивает применение наибольших нагрузок, испытания могут быть изменены. Испытание может быть изменено для приложения следующей чрезмерной нагрузки, которая прикладывается при имеющемся оборудовании. Прилагаемая нагрузка должна быть все еще достаточной для демонстрации того, что элемент жесткости на изгиб отклоняется до того же профиля, который прогнозировался расчетным программным обеспечением.

##### 6.5.2.3 Критерии приемки

Радиус изгиба элемента жесткости на изгиб должен отвечать прогнозируемому на этапе проектирования, а критерии минимального радиуса изгиба должны

соблюдаться при определенном сочетании напряжения и угла.

### 6.5.3 Испытание динамической усталости

#### 6.5.3.1 Описание

Целью испытания динамической усталости является проверка того, что гибкая труба может выдерживать циклическую нагрузку в определенных условиях для определенного усталостного ресурса. Если выбранное устройство ограничения изгиба - элемент жесткости на изгиб, то элемент жесткости на изгиб должен включаться в испытание, чтобы точно смоделировать рабочие условия. Это дает возможность оценить характеристики усталости элемента жесткости на изгиб. Однако необходимо учесть два важных испытательных параметра до проведения испытания. Во-первых, испытание специально проводится в отношении проверки характеристик усталости гибкой трубы, т.е. могут изменяться различные испытательные нагрузки, соответствующее количество циклов, чтобы получить теоретическое повреждение 1,0 в гибкой трубе, но это не является необходимым для элемента жесткости на изгиб. Во-вторых, испытание динамической усталости может быть усилено в том смысле, что частота циклического сгибания будет выше, чем она могла бы быть в случае эксплуатации. Для штормовых волн частота составляет порядка 0,05 Гц - 0,1 Гц. Циклическое сгибание более высокой частоты приведет к снижению характеристик усталости элемента жесткости на изгиб из-за выделения тепла в элементе жесткости на изгиб (см. 6.4.6.4). Таким образом, если рассчитан усталостный ресурс элемента жесткости на изгиб в проекте, необходимо рассчитать прилагаемые амплитуды и частоты циклического сгибания в полномасштабном испытании усталости, чтобы получить повреждение 1,0 в элементе жесткости на изгиб. Трудно предсказать вероятность возникновения повреждения элемента жесткости на изгиб с какой-либо точностью, из-за влияния выделения тепла и дефектов поверхности.

#### 6.5.3.2 Порядок

6.5.3.2.1 Испытание динамической усталости должно выполняться в соответствии с рекомендациями, указанными в пункте 9.6.1 ГОСТ Р ИСО 13628-11 [1] по амплитуде угла, частоте и количеству циклов, применяемых при испытании.

Рекомендации/руководства в следующих подпунктах относятся только к элементу жесткости на изгиб.

6.5.3.2.2 Элемент жесткости на изгиб должен крепиться к испытательной опорной конструкции, которая является репрезентативной по размерам и геометрии для опорной конструкции, применяемой в работе, а также способ крепления является репрезентативным для того способа, который будет применяться в работе. Если конструкция соединения скрепляется с опорной конструкцией, она должна фиксироваться с помощью крепежных элементов с такими же характеристиками, и фиксироваться с такой же силой зажима, которая была определена на этапе проектирования для работы. Если элемент жесткости на изгиб втягивается через I/J-образную трубу и фиксируется в определенном положении, такая сборка должна быть представлена во время испытания. Соединительная арматура, примыкающая к конструкции соединения, должна крепиться к конструкции соединительной арматуры таким образом, чтобы представлять по размерам и геометрически арматуру, которая будет использоваться в работе.

6.5.3.2.3 Конструкция соединения должна крепиться к испытательной опорной конструкции в соответствии с 6.7.4.3, с предварительным напряжением, представляющим то, которое будет применяться в работе.

6.5.3.2.4 После завершения испытания корпус элемента жесткости на изгиб и конструкция соединения должны проверяться на наличие каких-либо трещин или повреждений, возникших во время испытания опытного образца. Соединение между корпусом элемента жесткости на изгиб и конструкцией соединения должно проверяться, в зонах, где можно определить, есть ли расслоение связи между двумя материалами.

### 6.5.3.3 Критерии приемки

6.5.3.3.1 Корпус элемента жесткости на изгиб должен выдерживать определенное количество циклов без повреждения полимерного материала, а конструкция соединения должна выдерживать определенное количество циклов без повреждения своих компонентов, включая сварные соединения и крепежные элементы.

6.5.3.3.2 Конструкция соединения должна оставаться надежно прикрепленной к испытательной опорной конструкции после испытания. Крепежные элементы не должны отделяться во время проведения испытания.

6.5.3.3.3 Состояние связи между конструкцией соединения и корпусом элемента жесткости на изгиб после испытания должно быть таким, чтобы элемент жесткости на изгиб все еще соответствовал своим функциональным требованиям.

6.5.3.3.4 После проверки элемента жесткости на изгиб, испытание на усталость необходимо продолжить за пределами указанного количества циклов пока не произойдет поломка элемента жесткости на изгиб, чтобы определить вероятность возникновения повреждения. Если корпус элемента жесткости на изгиб проектировался с использованием расчетов усталостного повреждения, такую вероятность возникновения повреждения можно сравнить с прогнозированной на этапе проектирования.

#### 6.5.4 Испытания на половину масштаба

Допускается провести испытания масштабных моделей элемента жесткости на изгиб, чтобы получить исходные данные для процесса проектирования. Должен быть применен метод размерного анализа, указанный в документах, для прогнозирования реакции полномасштабного элемента жесткости на изгиб по масштабной модели. Испытание должно подтвердить способность элемента жесткости на изгиб выдерживать уровень статической и циклической нагрузки в определенных условиях, а также расчетные температуры. Необходимо учитывать старение материалов при испытаниях. Это достигается наличием задокументированных способов прогнозирования характеристик состаренного материала на основании результатов испытания и т.д.

### 6.6 Изготовление

#### 6.6.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству элементов жесткости на изгиб. В данном подпункте описываются типичные процессы, применяемые при производстве элемента жесткости на изгиб, и руководства о

соблюдении требований пункта 6.5 для различных этапов производственного процесса.

#### 6.6.2 Процессы изготовления

Изготовление элемента жесткости на изгиб обычно включает следующие процессы:

- изготовление пресс-формы;
- изготовление конструкции соединения;
- сборку пресс-формы и конструкции соединения;
- нагревание формы;
- введение материала в форму;
- выемку из формы и отделка.

Описание вышеупомянутых процессов, руководства и рекомендации, относящиеся к таким процессам, даны в следующих подпунктах.

#### 6.6.3 Изготовление пресс-формы

Производство пресс-формы включает подгонку центрального трубчатого элемента во внешней оболочке, с формированием, таким образом, пустоты в форме необходимого компонента, как показано на рисунке 6.7. Необходимо отметить, что элемент жесткости на изгиб на рисунке 6.7 относится к соединительной арматуре примыкающей конструкции соединения, что является одним из нескольких возможных конструктивных решений соединения.

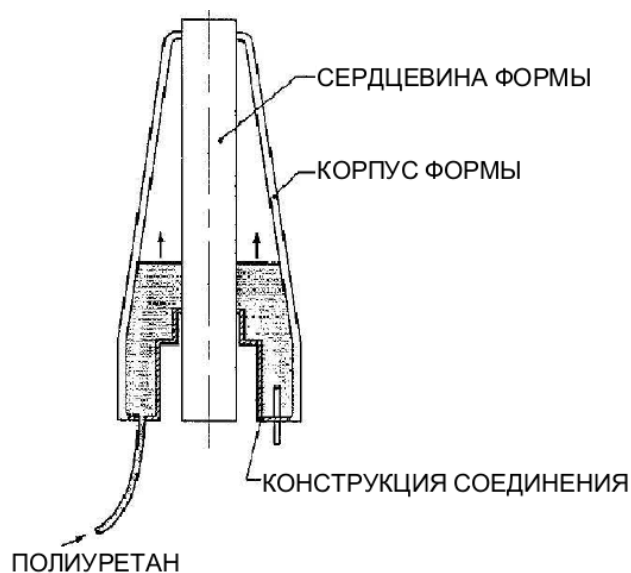


Рисунок 6.7 – Пресс-форма элемента жесткости на изгиб

#### 6.6.4 Изготовление конструкции соединения

Конструкция соединения может быть сложным компонентом, в зависимости от индивидуальных требований проекта. Она производится таким же образом, как любые обычные металлические конструкции, свариванием серии компонентов и обработкой необходимых отверстий крепления для закрепления ее на опорной конструкции. Следующие этапы включают проверку и исследование методом неразрушающего контроля сварных швов конструкции соединения. Поскольку конструкция соединения, как таковая, является особо важным компонентом, важно убедиться, что все критические сварные соединения проверены с помощью метода неразрушающего контроля, чтобы удостовериться их конструктивную прочность. Последний этап включает применение коррозионностойкого покрытия на внешних зонах конструкции.

#### 6.6.5 Сборка пресс-формы и конструкции соединения

6.6.5.1 Части конструкции соединения, которые необходимо связать с корпусом элемента жесткости на изгиб, покрываются соответствующим связывающим раствором. Все остальные поверхности в пресс-форме обрабатываются разделительной смазкой перед сборкой.

6.6.5.2 В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны некоторые меры, обеспечивающие хорошую связь между конструкцией соединения и корпусом элемента жесткости на изгиб. Процесс связывания конструкции соединения чрезвычайно важен, поскольку невозможно определить качество связи после процесса литья. Таким образом, особое внимание надо уделить проверке того, что подготовка конструкции соединения, хранение и погрузочно-разгрузочные работы до процесса связывания строго соответствуют процедурам производителя, которые требуются в соответствии с пунктом 6.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16.

#### 6.6.6 Нагревание формы

Перед заполнение пресс-форма нагревается до соответствующей температуры. Нагревание пресс-формы может потребовать наличия большой печи для размещения формы в сборе.

#### 6.6.7 Введение материала в форму

6.6.7.1 Материал элемента жесткости на изгиб вводится через отверстие для заполнения в пресс-форму. Жидкий материал выталкивает воздух из пустоты формы через воздушное отверстие.

6.6.7.2 Пункт 6.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16 требует наличия методики для удаления пустот в литом корпусе элемента жесткости на изгиб. Если время заполнения формы менее, чем время загустения материала, это один из способов снизить возможность появления таких пустот.

6.6.7.3 После завершения операции наполнения происходит начальное отвердевание материала, так как полиуретановая система реагирует и отвердевает.

#### 6.6.8 Выемка из формы и отделка

6.6.8.1 Полностью затвердевший компонент в конце извлекается из формы и проходит детальную проверку, чтобы определить любые дефекты поверхности до поставки.

6.6.8.2 Дефекты поверхности особо критичны для динамических элементов жесткости на изгиб, так как они могут усилить проявление усталостной поломки. Трудно определить все поверхностные дефекты, особенно небольшие, такие как царапины порядка нескольких миллиметров длиной. Таким образом, необходимо сосредоточиться на предотвращении появления таких дефектов, соблюдая требования к технологическому контролю и погрузочно-разгрузочным работам из ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Сильное освещение может помочь при определении каких-либо дефектов корпуса элемента жесткости на изгиб.

## **6.7 Погрузочно-разгрузочные работы, транспортировка и установка**

### **6.7.1 Общие сведения**

В пункте 6.7 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам, транспортировке и установке элементов жесткости на изгиб. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и описывают порядок установки.

### **6.7.2 Погрузочно-разгрузочные работы**

Характеристики элемента жесткости на изгиб могут существенно снизиться в результате дефектов от повреждений во время погрузочно-разгрузочных работ. Если на элемент жесткости на изгиб воздействует истирание, могут возникнуть небольшие дефекты поверхности, которые значительно влияют на характеристики усталости. Целью является предотвращение повреждения элемента жесткости на изгиб. Необходимо рассмотреть защиту внешней поверхности корпуса элемента жесткости на изгиб, чтобы защитить от повреждения при погрузочно-разгрузочных работах или установке. Может использоваться чехол или подобная внешняя защита для обеспечения такой защиты.

### **6.7.3 Транспортировка**

Необходимо учитывать, что крупные элементы жесткости на изгиб (приблизительно 6 м - 7 м в длину) занимают большой объем при хранении в барабанах, если вокруг них применяется защитная упаковка.

### **6.7.4 Установка**

6.7.4.1 Установка элемента жесткости на изгиб включает следующие процессы:



- установка элемента жесткости на изгиб на гибкой трубе.
- передвижение сборки гибкой трубы и элемента жесткости на изгиб на опорной конструкции;
- фиксация конструкции соединения на опорной конструкции.

6.7.4.2 Одной из основных целей при производстве элемента жесткости на изгиб является обеспечение равномерного конического корпуса без внутренних разрывов. Элемент жесткости обычно изготавливается цельным и, поскольку корпус тесно прилегает к трубе, он должен устанавливаться на трубе до установки соединительной арматуры.

6.7.4.3 Конструкция соединения должна крепиться к опорной конструкции с помощью предварительного натяжения, рассчитанного в соответствии с пунктом 6.3 ГОСТ Р ИСО 13628-16. Должно использоваться гидравлическое натяжное оборудование, если имеется допуск. Необходимо обеспечить соответствующее место для применения гидравлического натяжного оборудования, предлагаемого к использованию, так как размер гидравлического натяжного оборудования может меняться в зависимости от типа оборудования. Если в методе натяжения использовались значения момента затяжки, должны быть средства контроля натяжения крепежных элементов. Это крайне важно, так как усталостный ресурс зависит от такого натяжения.

6.7.4.4 При некотором целевом использовании гибкие трубы с установленными элементами жесткости на изгиб предварительно укладываются на морское дно, чтобы их в дальнейшем можно было достать. В таких случаях необходимо обратить внимание на предварительную укладку и извлечение, чтобы предотвратить трение элемента жесткости на изгиб о морское дно и его удары с другими объектами, такими как камни и кораллы. Также необходимо быть внимательным во время работ по втягиванию, чтобы избежать ударов элемента жесткости на изгиб с объектами. Небольшое повреждение элемента жесткости на изгиб может быть неизбежным, и поэтому должен быть установлен защитный кожух или его аналог до укладки трубы на морское дно. Движение по морскому дну в результате течений или аналогичных сил может быть

неизбежным, и может быть не прогнозируемым и приводить к повреждению элемента жесткости на изгиб.

6.7.4.5 Динамическая нагрузка, включая вибрацию, вызванную вихреобразованием, гибкой трубы, может ослабить болты на конструкции соединения во время эксплуатации. Необходимо рассмотреть принятие профилактических мер, таких как использование подходящего фиксирующего вещества на болтах, чтобы предотвратить их раскручивание.

6.7.4.6 Необходимо принять меры, чтобы гарантировать защиту элемента жесткости на изгиб при установке на барабан. Это обычно достигается обеспечением пенопластовой подушкой и/или приложением достаточного натяжения гибкой трубы, чтобы предотвратить повреждение элемента жесткости на изгиб или гибкой трубы без опоры, если она находится на наконечнике элемента жесткости на изгиб.

6.7.4.7 Необходимо уделить внимание установке, чтобы избежать повреждения в результате контакта гибкой трубы с внешними кромками конструкции соединения. Этого можно достичь защитой гибкой трубы, например, установив защитную футеровку между конструкцией соединения и элементом жесткости на изгиб.

## **6.8 Управление целостностью**

### **6.8.1 Общие сведения**

В 6.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### **6.8.2 Типы неисправностей и дефекты**

В таблице 3 указаны возможные дефекты для элементов жесткости на изгиб.

### **6.8.3 Методы мониторинга**

6.8.3.1 Близкий осмотр элемента жесткости на изгиб с помощью ТНПА в динамическом применении затруднен из-за движения судна и воздействия волн и течений. Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 5.1, 5.2 и 5.3 (таблица 3), если доступ возможен. Обычно невозможно напрямую проверить дефект 5.4, если только не установлено оборудование для измерения радиуса изгиба гибкой трубы во

время эксплуатации (например, с помощью оптоволоконного мониторинга), или если повреждение в результате чрезмерного изгиба внешней оболочки гибкой трубы, примыкающей к элементу жесткости на изгиб, можно видеть. Может быть затруднена проверка наличия дефекта 5.6, если нарушение связи не произошло рядом с основанием элемента жесткости на изгиб. В противном случае, нарушение связи будет внутренним и не заметным визуально. Дефект 5.6 будет виден, так как внутренняя муфта будет выступать из конца внешней муфты элемента жесткости на изгиб, хотя из-за обрастания такой просмотр может быть затруднен.

6.8.3.2 Если доступ возможен, вся поверхность элемента жесткости на изгиб должна проверяться на наличие каких-либо трещин, которые могут ускорить появление усталостной поломки в соответствии с дефектом 5.1.

6.8.3.3 Если доступ возможен, болты, фиксирующие конструкцию соединения или промежуточную конструкцию на опорной конструкции заказчика, должны осматриваться, чтобы оценить коррозию или расцепление болтов, в соответствии с дефектом 5.3.

6.8.3.4 Если элемент жесткости на изгиб не исправен, его необходимо проверить, подвергался ли он воздействию острых кромок по линии неисправности, что могло бы привести к повреждению прилегающих подводных линий. Прилегающие подводные линии должны проверяться на наличие каких-либо нанесенных повреждений.

## **7 Ограничители изгиба**

### **7.1 Область применения**

В разделе 7 даны рекомендации для ограничителей изгиба, используемых в условиях статичной работы, а также содержатся некоторые дополнительные рекомендации по динамическим ограничителям изгиба. Следующие подпункты относятся к элементам как полимерных и металлических ограничителей изгиба, так и к гибридным ограничителям изгиба.

Рекомендации в разделе 7 пункте могут относиться к подводным кабелям. Необходимо отметить, что рекомендации, относящиеся к внутренней среде и

температуре внешней оболочки, могут не подходить для подводных кабелей.

## **7.2 Вопросы проектирования**

### 7.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию ограничителя изгиба. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный подпункт относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- случаи расчетной нагрузки.

### 7.2.2 Рассмотрение проектирования – Проектирование статических применений

Проектирование статических ограничителей изгиба для определенного состояния гибкой трубы, представленное на схеме на рисунке 7.1, обычно включает такие этапы:

а) выполняется ряд статических и динамических анализов гибкой трубы, включая установку, чтобы определить необходимую длину покрытия ограничителями изгиба, момент изгиба и нагрузку сдвига, для которых анализируется ограничитель изгиба. Общее руководство по анализу см. в 7.4.3;

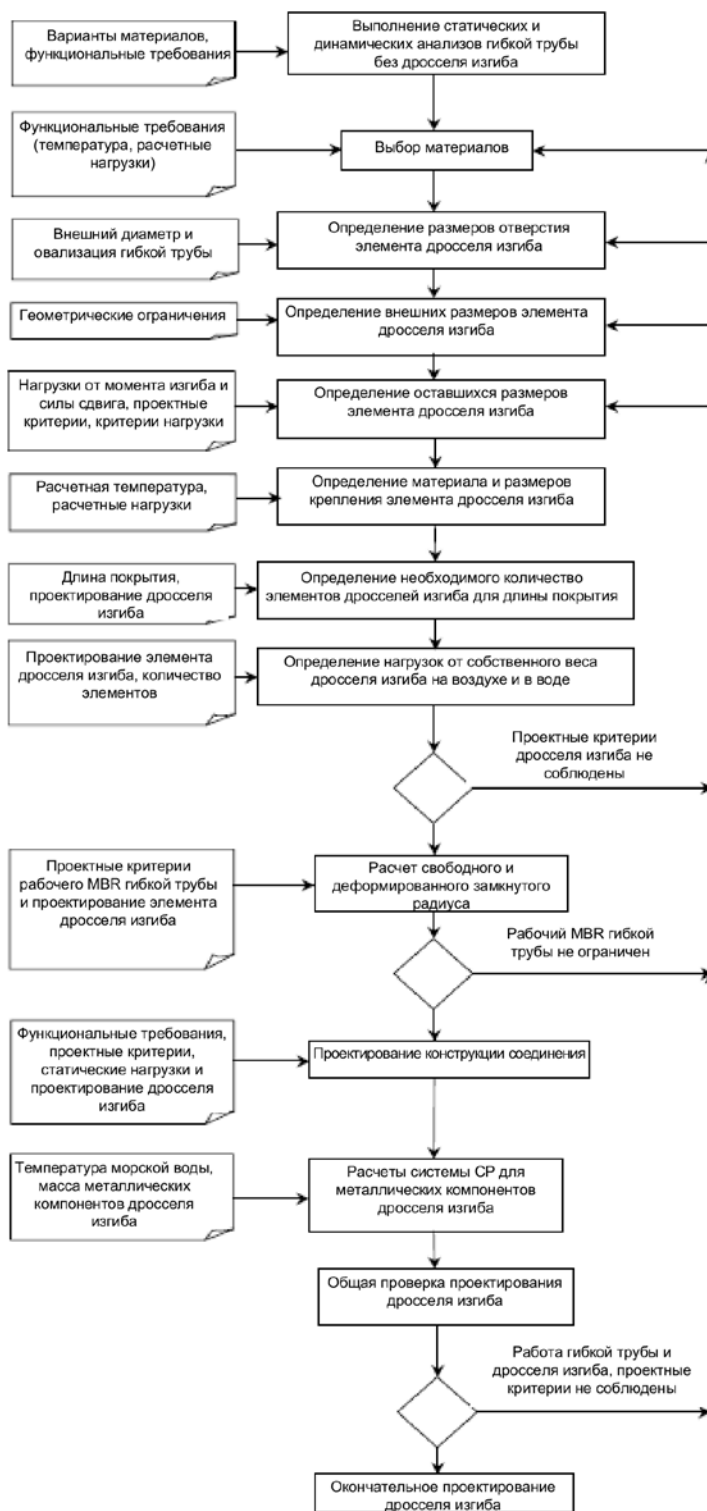


Рисунок 7.1 – Схема проектирования ограничителя изгиба

б) выбираются материалы ограничителя изгиба, включая крепежный материал,

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

на основании требований, данных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), для определенной температуры в случае с полимерными элементами ограничителя изгиба и крепежными элементами. Руководства по выбору материала см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

в) определяется размер отверстия, необходимый для размещения габаритов гибкой трубы, включая допуски, а также допуски на овализацию;

г) определяется внешний диаметр элемента ограничителя изгиба, необходимый для соблюдения всех геометрических ограничений. Геометрические ограничения включают J-образные трубы, направляющие конусы и т.д.;

д) определяются оставшиеся размеры ограничителя изгиба, необходимые для соблюдения случаев расчетной нагрузки (см. 7.2.4);

е) по возможности определяются размеры крепежных элементов, необходимые для соединения полуобечек элемента ограничителя изгиба и соединения элементов ограничителя изгиба с конструкцией соединения;

ж) определяется количество элементов ограничителя изгиба, необходимых для обеспечения нужного покрытия;

и) определяются нагрузки от собственного веса ограничителя изгиба на воздухе и под водой;

к) рассчитываются свободный и деформированный замыкающий радиусы с помощью конфигурации элементов ограничителя изгиба и сравниваются с критериями рабочего минимального радиуса изгиба гибкой трубы.

л) Конструкция соединения проектируется в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Рекомендации по проектированию конструкции соединения см. в 7.2.5;

м) выполняются расчеты системы катодной защиты, чтобы определить необходимые массы анодов для ограничителя изгиба. Если проектируется металлический ограничитель изгиба, элементы ограничителя изгиба, а также конструкция соединения могут потребовать специальной системы катодной защиты.

н) некоторые или все анализы этапа б) повторяются с включением спроектированного ограничителя изгиба, в качестве общей проверки конструкции ограничителя изгиба. Общая проверка обычно выполняется производителем гибкой

трубы или специалистом по общему анализу. Общие руководства по анализу см. в 7.4.3.

7.2.3 Рассмотрение проектирования – Проектирование динамических применений  
Ограничители изгиба рассчитываются на статические нагрузки. Может потребоваться рассчитать ограничитель изгиба на динамические нагрузки. Руководства по использованию ограничителей изгиба в динамических применениях см. в 7.4.6.

#### 7.2.4 Проектирование элементов ограничителя изгиба

7.2.4.1 Поскольку отверстия отдельных элементов ограничителя изгиба прямые и не искривленные, отверстие последовательности элементов ограничителя изгиба не будет изгибаться до идеального радиуса. Необходимо гарантировать, что таким образом не происходит локализованный чрезмерный изгиб, нарушающий требования к минимальному радиусу изгиба гибкой трубы.

7.2.4.2 Расчет геометрии элемента ограничителя изгиба должен быть таким, чтобы вовремя замыкания контакт между прилегающими элементами не приводил к сосредоточенным нагрузкам, которые могли бы вызвать концентрации высокого напряжения. Вместо этого контакт должен распространяться по поверхности. Это показано на рисунке 7.2, где изображены обычные области контакта (отмеченные области контакта 1 - 3) для элемента полимерного ограничителя изгиба.

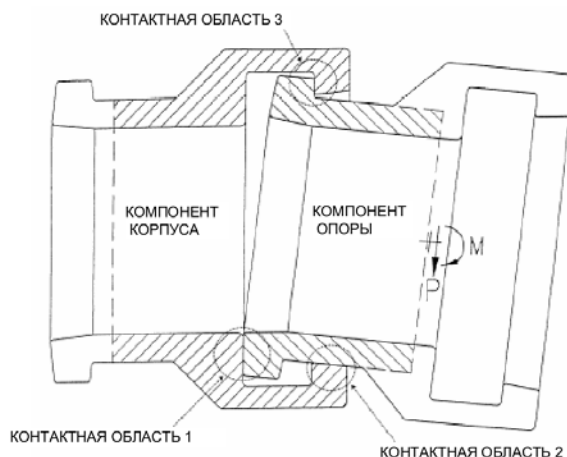


Рисунок 7.2 – Точки контактные элемента ограничителя изгиба обычные

7.2.4.3 Элементы ограничителя изгиба должны проектироваться таким образом, чтобы во время замыкания внешняя оболочка гибкой трубы не захватывалась

примыкающими элементами. Необходимо уделить внимание тому, чтобы замыкание колец не повреждало внешнюю оболочку трубы, т.е. чтобы была гладкая опора без острых кромок в конструкции ограничителя.

7.2.4.4 Элементы ограничителя изгиба, изготовленные из стандартной трубы, включают внутренние и внешние соединения, как показано на рисунке 7.3. Кольцевые фланцы на каждом конце внутреннего соединения захватываются внутри внешнего соединения, обеспечивая универсальное угловое соединение. Соединения двунаправленные, поэтому их можно собирать в любой последовательности.

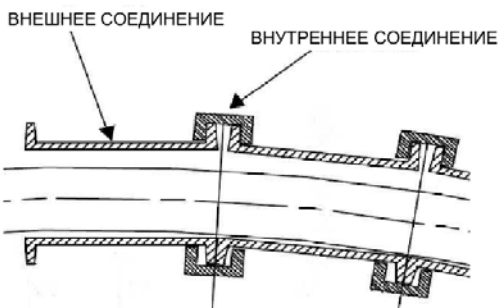


Рисунок 7.3 – Ограничитель изгиба стандартного трубопровода

7.2.4.5 Элементы ограничителя изгиба, изготовленные из стандартной трубы, могут, как правило, использоваться, только если ограничитель изгиба устанавливается до соединительной арматуры.

#### 7.2.5 Проектирование конструкции соединения

7.2.5.1 Конструкция соединения ограничителя изгиба обычно требует сложного проектирования соединения вместе с проектированием гибкой трубы, подводного оборудования, а также разработкой инструкций по монтажу и установке, в которых могут присутствовать определенные требования к конструкции для обеспечения размерного совмещения с прилегающими конструкциями.

7.2.5.2 Может потребоваться промежуточная конструкция, чтобы соединить соединительную конструкцию с опорной конструкцией. Могут потребоваться фланцы адаптера и удлиняющие втулки, чтобы обеспечить соединение между конструкцией соединения и опорной конструкцией, если прямое соединение невозможно. На рисунке 7.4 показан пример адаптера, используемого для соединения конструкции соединения



сжимающего фланца с соединительной арматурой гибкой трубы. Более подробный вид данного фланца адаптера показан на рисунке 7.5.

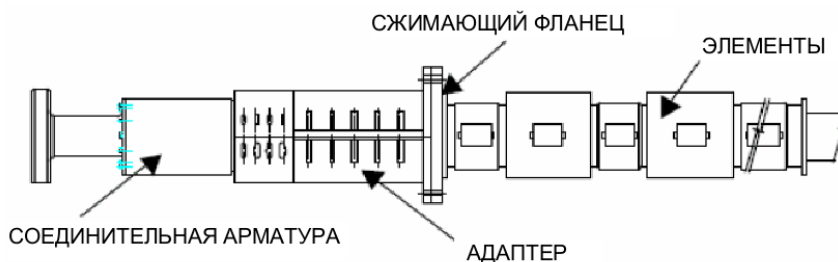


Рисунок 7.4 – Фланец адаптера ограничителя изгиба

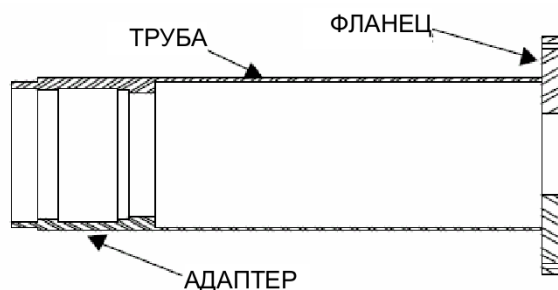


Рисунок 7.5 – Фланец адаптера ограничителя изгиба

#### 7.2.6 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у ограничителя изгиба, см. в таблице 4. В таблице 4 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Т а б л и ц а 4 – Возможные дефекты ограничителя изгиба

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
6.1	Неисправность элемента ограничителя изгиба	<p>а) Возможное разъединение ограничителя изгиба с опорной конструкцией, потеря защиты, чрезмерное сгибание или возможное повреждение гибкой трубы</p> <p>б) Возможное повреждение гибкой трубы от сломанных краев элемента ограничителя изгиба</p>	<p>а) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 14 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>в) Усталостная поломка (только динамическое применение)</p> <p>д) Заводской брак (напр., пустоты в формах элементов полимерного</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери защиты ограничителя изгиба на MBR гибкой трубы.</p> <p>б) Извлечение дросселя изгиба, если он представляет риск для целостности системы гибкой трубы</p> <p>в) При необходимости, замена ограничителя изгиба либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы.</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины и/или размеров элемента ограничителя изгиба</p> <p>в) Замена формы элемента ограничителя изгиба, чтобы изменить распределение нагрузки</p> <p>д) Проектирование системы катодной защиты в соответствующих случаях</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			ограничителя изгиба) е) Старение материалов элементов полимерного ф) ограничителя изгиба из-за воздействия: 1) солнечного света (только поверхностные ограничителя изгиба) 2) озона (только поверхностные ограничителя изгиба) 3) морской воды 4) высокой температуры ф) Ползучесть Неправильная конструкция		
6.2	Вдавливание	Вдавливания	а) Чрезмерные	а) Попытаться установить,	Как правило,

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	элементов металлического ограничителя изгиба	могут вдавливать гибкую трубу и соприкасаться с ней, таким образом повреждая трубу	расчетные нагрузки (см. таблицу 14 ГОСТ Р ИСО 13628-16) в) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр. швартовный конец) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки и или установки	есть ли какое-либо воздействие на целостность гибкой трубы в) При необходимости, замена ограничителя изгиба либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы.	нагрузки, которые могли бы привести к вдавливанию, не рассчитываются. В этом случае применяются профилактические меры против такой нагрузки, как падающие объекты и т.д.
6.3	Неисправность крепежа элемента ограничителя изгиба	а) Отсоединение элемента ограничителя изгиба и снижение защиты	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 14 ГОСТ Р ИСО 13628-16) в) Усталостная	а) Обсуждение с производителем целостности ограничителя изгиба при пропущенных крепежных элементах в) Если разрешен доступ,	а) Выбор материалов б) Увеличение размера крепления в) Изменение предварительной

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		ограничителя изгиба б) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления	поломка (только динамическое применение) с) Коррозия д) Заводской брак е) Водородная хрупкость ф) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений) г) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)	может быть возможно установить сменные крепления	нагрузки крепежа д) Проектирование системы катодной защиты
6.4	Неисправность конструкции соединения	а) Последствия в соответствии с 6.1 а) б) Возможное повреждение гибкой трубы от сломанных	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 14 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Усталостная поломка	Меры по исправлению в соответствии с 6.1 а) 6.1 с)	а) Выбор материалов б) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины и

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		краев конструкции соединения	(только динамическое применение) с) Коррозия d) Неисправность сварного соединения е) Заводской брак f) Водородная хрупкость g) Неправильная конструкция h) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)		размеров с) Проектирование системы катодной защиты d) Изменение распределения нагрузки в конструкции
6.5	Неисправность креплений конструкции соединения	а) Последствия в соответствии с 6.1 а) b) Чрезмерная нагрузка на	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 14 ISO 13628-16) b) Усталостная поломка (только динамическое применение)	Меры по исправлению в соответствии с 6.3 а) и b)	Проектные решения/изменяемые параметры в соответствии с 6.3 а) - d)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		оставшиеся крепления	с) Коррозия d) Заводской брак е) Водородная хрупкость f) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)		
6.6	Гибкая труба недостаточно защищена от чрезмерного изгиба	Чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 14 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Заводской брак (напр., пустоты в формах полимерного ограничителя изгиба)	Замена дросселя изгиба либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы	Проектные решения/изменяемые параметры в соответствии с 6.1 а) и б)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			с) Старение материалов элементов полимерного ограничителя d) изгиба из-за воздействия: 1) солнечного света (только поверхностные ограничители изгиба) 2) озона (только поверхностные дроссели изгиба) 3) морской воды 4) высокой температуры d) неправильная конструкция		
6.7	Удаление покрытия краской (только металлические ограничители изгиба)	Возможная коррозия конструкции	а) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения,	Обращение к отчету по проектированию/производителя по вопросам с областью нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты; установка	а) Выбор системы покрытия краской б) Проектирование системы катодной защиты



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>транспортировка и, установки или обслуживания</p> <p>б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно)</p> <p>с) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)</p>	усовершенствованных анодов, если область превышает запроектированную.	
6.8	Показания СР отличаются от технических требований	Возможная коррозия металлических компонентов ограничителя изгиба	<p>Отключены кабели системы катодной защиты. Сломан анод(ы).</p> <p>Неправильное проектирование системы катодной защиты (т.е. неправильные массы анодов)</p>	<p>а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту</p> <p>б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок</p>	Проектирование системы катодной защиты
6.9	Коррозия крепежа элементов	Возможная неисправность	а) Чрезвычайно коррозионная	а) обсуждение с производителем целостности	а) Выбор материалов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	металлического дросселя	конструкции	<p>среда</p> <p>b) Неправильная защита системы катодной защиты</p> <p>c) повреждение системы покрытия краской</p> <p>d) отключение кабелей системы катодной защиты</p> <p>e) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты)</p>	<p>конструкции с коррозией</p> <p>b) установка усовершенствованных анодов на длительный срок</p>	<p>b) Проектирование системы катодной защиты</p>

### 7.2.7 Проектные критерии

7.2.7.1 Общие рекомендации по проектным критериям даны в пункте 5.3.6. В этом подпункте даны руководства и рекомендации, относящиеся к проектным критериям ограничителя изгиба.

7.2.7.2 В пунктах 7.4.5 и 7.4.6 представлено более подробное обсуждение анализа срока службы, включая ползучесть и руководства по ограничителям изгиба, применяемым для динамических работ. Критерии расчетов усталости указаны в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

### 7.2.8 Коррозионная защита

7.2.8.1 Крепежные элементы, которые соединяют элементы полимерного ограничителя изгиба, должны изготавливаться из коррозионностойкого материала, поскольку они могут соединяться с системой катодной защиты благодаря электрическим изоляционным свойствам окружающего полимера. Выбор материала крепежа должен учитывать расчетную температуру.

7.2.8.2 Элементы металлического ограничителя изгиба и конструкции соединения могут соединяться с системой катодной защиты прилегающей опорной системы, если соответствующий резерв был учтен при расчетах катодной защиты опорной конструкции. Такое соединение обычно получается при присоединении кабелей от опорной конструкции к конструкции соединения и ко всем отдельным элементам металлического ограничителя изгиба. Если невозможно соединить опорную конструкцию с компонентами металлического ограничителя изгиба, может быть предусмотрен ограничитель изгиба со специальной системой катодной защиты при прикреплении анодов к конструкции соединения и к каждому элементу жесткости на изгиб.

### 7.2.9 Случаи нагрузки

7.2.9.1 Ограничитель на изгиб подвергается значительным внешним нагрузкам только при замыкании. При замыкании момент изгиба и сила сдвига передаются от гибкой трубы ограничителю изгиба, как схематично показано на рисунке 7.6. Как

правило, максимальная нагрузка производится на элементе ограничителя изгиба, ближайшем к примыкающей конструкции.

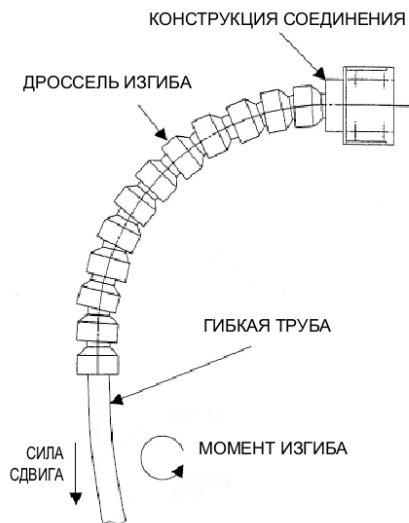


Рисунок 7.6 – Нагрузки ограничителя изгиба

7.2.9.2 Нагрузки и их точки приложения, которые воздействуют на охватывающие и охватываемые конструкции соединения, показаны на рисунке 7.7. Такие нагрузки являются сочетанием момента изгиба, сил натяжения и сдвига, как показано на рисунке 7.7. Силы натяжения и сдвига появляются в результате сил сжатия, прилагаемых прилегающим элементом ограничителя изгиба. Показанные силы представляют силы, которые оказывают воздействие, когда ограничитель изгиба справа на конструкции соединения сгибается по часовой стрелке.

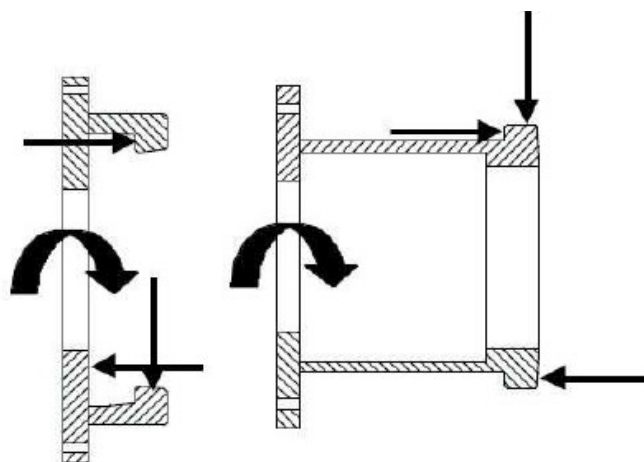


Рисунок 7.7 – Нагрузки охватывающей (слева) и охватываемой (справа)

## конструкции соединения

7.2.9.3 Конструкцию ограничителя изгиба необходимо проверить в отношении нагрузок от собственного веса, которые могут быть значительными. Нагрузки от собственного веса происходят, например, когда ограничитель изгиба свободно подвешен в воздухе или воде, а вес ограничителя изгиба позволяет воздействовать на самого себя.

### 7.2.10 Проектирование установки

В случае с машиннообработанными или литыми элементами полимерного ограничителя изгиба, охватываемая конструкция подходит для применения, при котором ограничитель изгиба собирается на гибкой трубе, начиная от первого конца трубы, который выходит из катушки/барабана. Это происходит из-за того, что элементы ограничителя изгиба собираются, начиная с соединительной арматуры. Обхватывающий конец первого элемента обматывает обхватываемую конструкцию соединения. И наоборот, обхватывающая конструкция подходит для применения, при котором ограничитель изгиба собирается на гибкой трубе рядом со вторым концом гибкой трубы, который выходит из катушки/барабана. Это происходит из-за того, что элементы ограничителя изгиба начинают собираться на расстоянии от соединительной арматуры. Обхватываемый конец последнего элемента вставляется в обхватывающую конструкцию соединения.

## 7.3 Материалы

### 7.3.1 Общие сведения

В 7.3 указаны материалы, которые обычно используются в ограничителях изгиба, и представлены в общем рабочие характеристики таких материалов.

### 7.3.2 Полимерные материалы

7.3.2.1 Элементы полимерного ограничителя изгиба изготавливаются преимущественно из конструкционного полиуретана. Используемые полиуретановые материалы являются не эластомерами, а пластиками. Такое свойство придает материалу способность принимать значительные нагрузки. Обычная сила натяжения для материала полимерного ограничителя изгиба (при 23 °С) составляет,

приблизительно, 45 МПа при удлинении к моменту разрыва 15 % - 20 %  
Преимуществом полимерных ограничителей изгиба по сравнению с металлическими является то, что они не нуждаются в системе защиты от коррозии. Также, из-за сравнительно низкой плотности полимерного материала по отношению к стали, их преимущество заключается в меньшей массе, связанной с системой гибкой трубы. Прочность материалов полимерного ограничителя изгиба обычно снижается при высоких температурах, и увеличивается при низких.

7.3.2.2 Полимерные материалы ограничителя изгиба должны демонстрировать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды (только для подводных ограничителей изгиба).
- сопротивление гидролизу.
- ограниченное ухудшение свойств в результате старения.
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда гибкой трубы находится под высокой температурой).

Примечание - Обычная температура тепловой деформации материала полимерного ограничителя изгиба - 70 °С. Даже при высокой температуре обычный полимерный материал ограничителя изгиба сохраняет достаточную механическую прочность при прочности на растяжение около 20 МПа при 60 °С.

- близкую к нейтральной плавучесть в морской воде (это помогает минимизировать нагрузку от собственного веса на гибкой трубе).

Примечание - Полимерные материалы ограничителя изгиба, почти нейтральной плавучести, действительно имеют минимальный вес в морской воде. Обычная плотность полимерного материала ограничителя изгиба составляет, приблизительно, 1 150 кг/м<sup>3</sup>;

- Способность выдерживать постоянные нагрузки в течение срока службы без повреждения при ползучести.

- обоснованная механическая прочность, чтобы выдерживать обычные погрузочно-разгрузочные работы во время установки.

Примечание - Обычная ударопрочность полимерного материала ограничителя изгиба по Изоду (при 23 °С) составляет 8 кДж/м<sup>2</sup>;

- ограниченное снижение модуля эластичности с температурой (таким образом гарантируется, что деформированный замкнутый радиус соответствует расчетным критериям).

Важно выбрать правильный класс полиуретана для температурных условий.

7.3.2.3 Материалы для ограничителя изгиба должны выбираться таким образом, чтобы они могли выдерживать температуры в непосредственной близости от внешней оболочки гибкой трубы в течение срока службы, и в сочетании с постоянным контактом с морской водой (когда ограничитель изгиба находится под водой). Температура внешней оболочки - важный параметр при применении, в котором гибкая труба транспортирует среду с высокой температурой. Воздействие сравнительно высоких температур и, что более критично, контакт с морской водой ухудшит свойства материала. Таким образом, он должен сохранять определенный уровень характеристик после ухудшения свойств к концу срока службы.

### 7.3.3 Металлические материалы

7.3.3.1 Металлические ограничителя изгиба изготавливаются из стали. Элементы стальных ограничителей изгиба обладают более высокой допускаемой нагрузкой, чем полимерные, но налагают большую массу на систему и требуют защиты с помощью как коррозионностойкого покрытия, так и системы катодной защиты.

7.3.3.2 Конструкция соединения обычно производится из углеродистой стали, которая защищена коррозионностойким покрытием и системой катодной защиты. Если нагрузка, передаваемая на конструкцию соединения, сравнительно высокая, может потребоваться использовать высокопрочную конструкционную сталь.

### 7.3.4 Гибридные ограничители изгиба

Ограничитель изгиба может включать полимерные и металлические элементы, объединяя, таким образом, высокую прочность металла с низкой плотностью полимера. Металлические элементы обычно используются в зонах, где полимерные материалы, могут не выдержать нагрузок. Использование полимерных элементов в оставшихся зонах, таким образом, поможет минимизировать вес системы.

## 7.4 Вопросы анализа

### 7.4.1 Общие сведения

Целью данного подпункта является предоставление рекомендаций по способам анализа ограничителя изгиба.

### 7.4.2 Местный анализ

7.4.2.1 Ограничители проектируются служебными специальными программными пакетами, шаблонными механическими формулами, исследования 3-D методом конечных элементов или сочетанием этих методов. Элементы ограничителя изгиба являются простыми компонентами, однако процесс рабочего проектирования сложен. Во время проектирования необходимо постоянно обращать внимание на иногда конфликтующие требования геометрической приемлемости и предельной нагрузки.

#### 7.4.2.2 Основные исходные данные для проектирования ограничителя изгиба:

- моменты изгиба и силы сдвига, передаваемые элементам во время замыкания;
- геометрические требования по расположению гибкой трубы;
- длина покрытия;
- свойства материала ограничителя изгиба.

Проектирование ограничителя изгиба обеспечит приемлемую геометрию элемента ограничителя изгиба, а также необходимое количество элементов. Обычная геометрия полимерного ограничителя изгиба показана на рисунке 7.8, а пример геометрии для ограничителя изгиба, изготовленного из стандартной трубы, показан на рисунке 7.9. Необходимо учесть, что элемент полимерного ограничителя изгиба имеет охватываемые и охватывающие концы, которые позволяют замыкать прилегающие элементы.



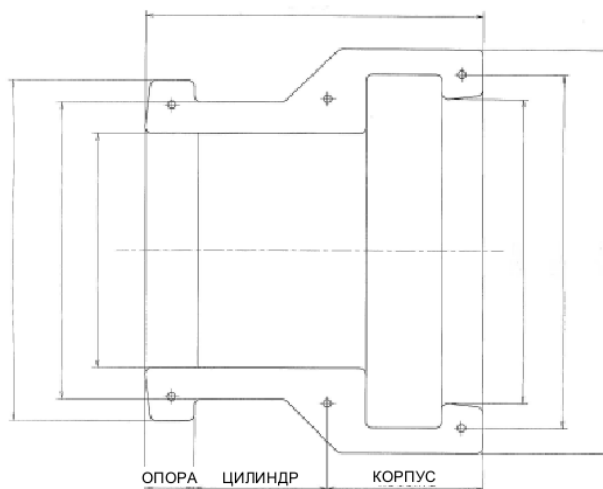


Рисунок 7.8 – Стандартная геометрия полимерного ограничителя изгиба

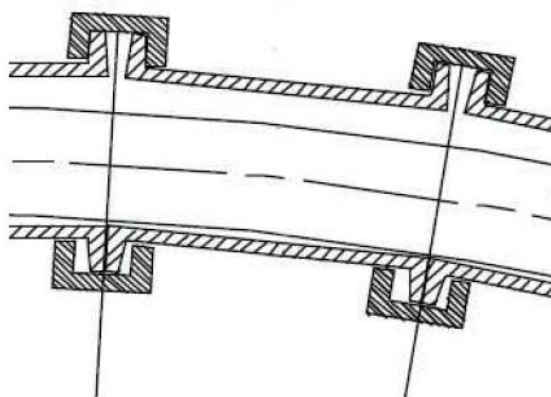


Рисунок 7.9 – Геометрия элемента ограничителя изгиба, изготовленного из стандартной трубы

7.4.2.3 Программное обеспечение для исследования 3-D методом конечных элементов может использоваться при определении нагрузок, производимых в элементах ограничителя изгиба из-за контакта между элементами. Такой анализ обычно выполняется ситуативно, чтобы проверить более эффективные подходы, или если это требуется при определенных проектных условиях. Определение контактных нагрузок требует использования специальных контактных элементов для моделирования контактных поверхностей.

7.4.2.4 Может использоваться полусимметричная модель конечных элементов, если нагрузки момента изгиба  $M$  и силы сдвига  $F_s$ , которые анализируются, действуют

на плоскости разъема компонентов (см. рисунок 7.10). Пример полусимметричной сетки показан на рисунке 7.11. Однако, если нагрузка момента изгиба и сил сдвига на ограничитель изгиба прилагается на плоскости, наклонной к плоскости разъема, как показано на рисунке 7.12, необходимо моделировать всю конструкцию. Пример сетки для всей конструкции показан на рисунке 7.13. Необходимо отметить, что сетки утончаются в местах болтовых отверстий, чтобы захватить концентрации напряжения в этих местах.

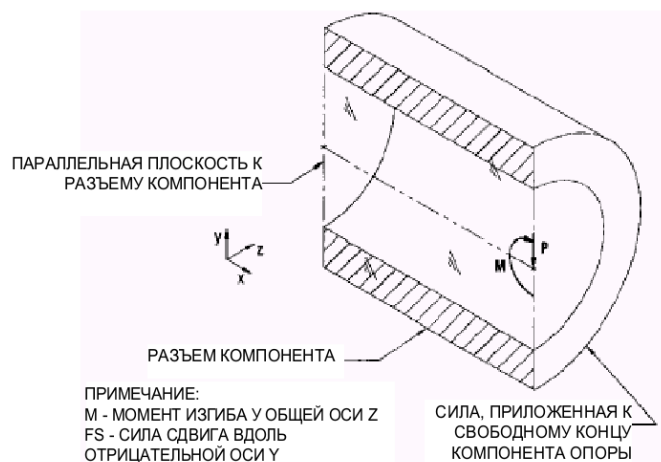


Рисунок 7.10 – Элемент ограничителя изгиба, плоскопараллельная нагрузка

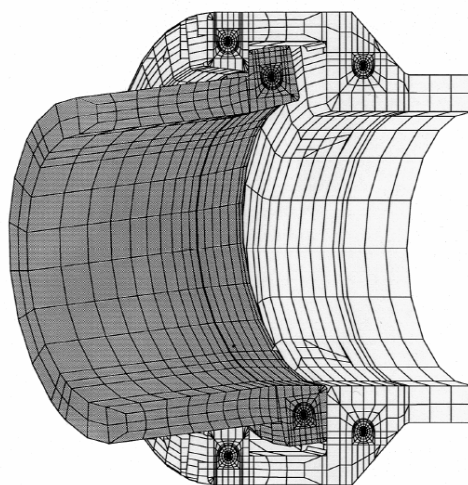


Рисунок 7.11 – Элемент ограничителя изгиба, полусимметричная сетка

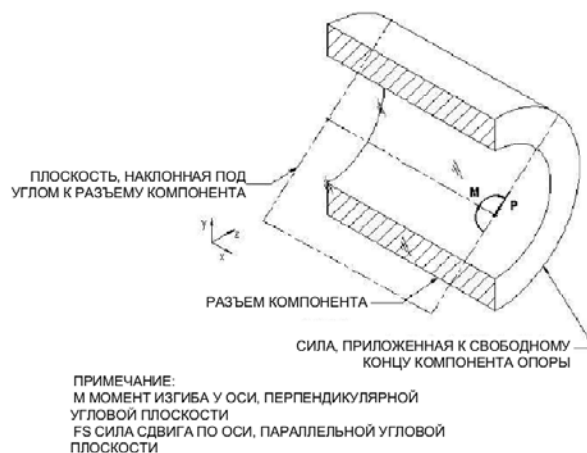


Рисунок 7.12 – Элемент ограничителя изгиба, нагрузка по наклонной плоскости

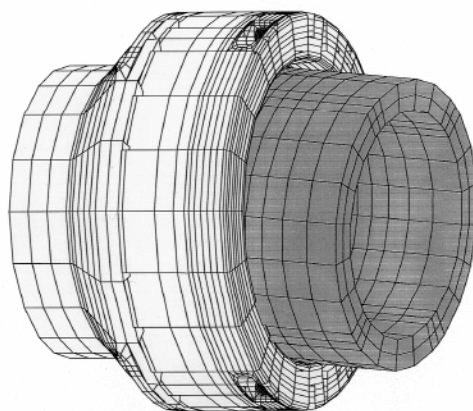


Рисунок 7.13 – Сетка элемента ограничителя изгиба (без симметрии)

7.4.2.5 Сетки, показанные на рисунке 7.11 и 7.12, ограничены частями двух элементов ограничителя изгиба. Так как анализируемое для модели поведение - это контакт между элементами, моделируемый объем считался достаточным для этого. В зависимости от анализируемого поведения, может потребоваться более обширная модель с большим количеством элементов ограничителя изгиба.

7.4.2.6 Сила сдвига может прилагаться как сосредоточенная нагрузка, воздействующая на кольцевую поверхность элемента ограничителя изгиба на конце модели конечных элементов, например, в месте, показанном на рисунке 7.9. Общая сила сдвига разделяется между общим количеством узлов кольцевой поверхности.

7.4.2.7 Момент изгиба может прилагаться как неравномерное, изменяющееся, распределенное напряжение изгиба в кольцевой области на конце модели конечных элементов, например, в месте, показанном на рисунке 7.9.

7.4.2.8 Нагрузки предварительной затяжки болтов могут моделироваться как эквивалентная осевая деформация, прилагаемая к оси всех болтов.

#### 7.4.3 Общий анализ

7.4.3.1 Общий анализ системы гибкой трубы должен применяться для определения всех зон, где радиус изгиба снижается ниже рабочего минимального радиуса изгиба и в случае, если ограничитель изгиба является приемлемым решением для предотвращения этого. Общий анализ должен определять длину гибкой трубы и, следовательно, необходимое покрытие ограничителем изгиба. Необходимое покрытие может быть больше во время установки по сравнению с периодом эксплуатации. Чаще всего чрезмерный изгиб происходит при контакте с морским дном, соединениях оборудования устья скважины, входах J-образной трубы или на хомуте кабель-троса. Чрезмерный изгиб появляется только при установке гибкой трубы.

7.4.3.2 Общий анализ системы гибкой трубы должен определить нагрузки момента изгиба и силы сдвига, которые передаются на ограничитель изгиба при замыкании.

7.4.3.3 Динамический анализ может применяться для определения большого объема чрезмерного изгиба и, следовательно, большого объема не постоянного замыкания в течение срока службы ограничителя изгиба. В таком случае может потребоваться учет усталостных нагрузок, воздействующих на ограничитель изгиба (см. 6.4.6), или, вместо этого, рассмотрение использования ограничителя изгиба.

7.4.3.4 Общий анализ должен повторяться с включением спроектированного ограничителя изгиба, в качестве общей проверки проекта. Общий анализ должен включать массу, внешний диаметр и замыкающий радиус спроектированного ограничителя изгиба. Общая проверка обычно выполняется производителем гибкой трубы или специалистом по общему анализу. Ограничитель изгиба должен

моделироваться в общем анализе с учетом дополнительной жесткости, которая могла бы воздействовать на гибкую трубу при замыкании.

#### 7.4.4 Термический режим

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы производитель учитывал влияние температуры на поведение ограничителя изгиба. Следующие параметры влияют на температурный градиент в ограничителе изгиба, вызванный гибкой трубой:

- температура окружающего воздуха или морской воды в зависимости от обстоятельств;

- влияние изоляции слоев гибкой трубы;

- свойства изоляции гибкой трубы обычно предусматриваются в опросных листах гибкой трубы;

- зазор между ограничителем изгиба и гибкой трубой, который обычно заполнен морской водой;

- влияние изоляции самого ограничителя изгиба;

- влияние нагревания от прямых солнечных лучей, в соответствующих случаях.

#### 7.4.5 Характеристики ползучести

Необходимо показать, что ползучесть полимерных ограничителей изгиба из-за постоянной нагрузки при замыкании не приводит к напряжению, превышающему допустимые уровни. Ограничители изгиба могут подвергаться постоянному моменту изгиба и силе сдвига во время эксплуатации. Чтобы удовлетворить такие критерии, напряжение в полимерных ограничителях изгиба может ограничиваться до определенного допустимого значения. Обычное значение – 15 %, но надлежащее значение зависит от точного состава материала и его характеристики ползучести.

#### 7.4.6 Анализ усталости

7.4.6.1 Как правило, ограничители изгиба рассчитаны на статические условия. Элемент жесткости на изгиб более подходящий ограничитель изгиба для динамических применений, если его можно использовать. Если ограничитель изгиба предназначен для использования в динамических применениях, т.е., где могли бы быть существенные уровни не постоянного замыкания и, следовательно, ударные силы между примыкающими элементами, необходимо определить целевое использование

ограничителя изгиба для применения, отличного от обычного использования. Должно быть количественное определение приблизительного уровня не постоянного замыкания между элементами.

7.4.6.2 Анализ усталости элементов ограничителя изгиба должен рассматриваться, если предполагается использование ограничителя изгиба в динамическом применении. В дополнение к требованиям ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) (в котором определены требования к анализу усталости металлических и полимерных материалов), анализ усталости, если применяется, должен рассматриваться для уровня не постоянного замыкания (и возникающих в результате силы сдвига и моментов изгиба), вызываемого движениями гибкой трубы. Если только невозможно устранить циклические ударные силы между прилегающими элементами путем изменения геометрии элементов или иначе, должно быть показано, что циклические ударные силы между прилегающими элементами не приводят к усталостной поломке материала. Если работа материалов ограничителя изгиба, как показано, ниже установленных и задокументированных пределов прочности, которые были утверждены, расчеты усталостного повреждения не требуется.

7.4.6.3 Если имеется относительное движение между элементами ограничителя изгиба, но замыкание отсутствует или незначительно, и, следовательно, нет значительных контактных сил между прилегающими элементами, анализ усталости не нужен.

## **7.5 Испытания опытного образца**

### **7.5.1 Применение испытаний опытного образца**

Проектные параметры, которые необходимо учесть при запросе испытаний опытного образца в данном подпункте, в соответствии с 5.6.3:

- расчетные нагрузки, включая силу сдвига и момент изгиба, прилагаемые к ограничителю изгиба;

- материалы, в частности новые составы полимерного материала для элементов ограничителя изгибов или металла без чрезмерного опыта использования в тяжелых режимах работы в морских условиях;

- процесс(ы) производства;

- внутренний и внешний диаметры гибкой трубы;
- максимальный внешний диаметр и длина элементов ограничителя изгиба.

## 7.5.2 Прочностное испытание с достижением расчетной нагрузки

### 7.5.2.1 Описание

Целью прочностного испытания с достижением расчетной нагрузки является гарантия того, что дроссель изгиба может выдерживать проектные нагрузки. Обычная сборка испытания нагрузки показана на рисунке 7.14.

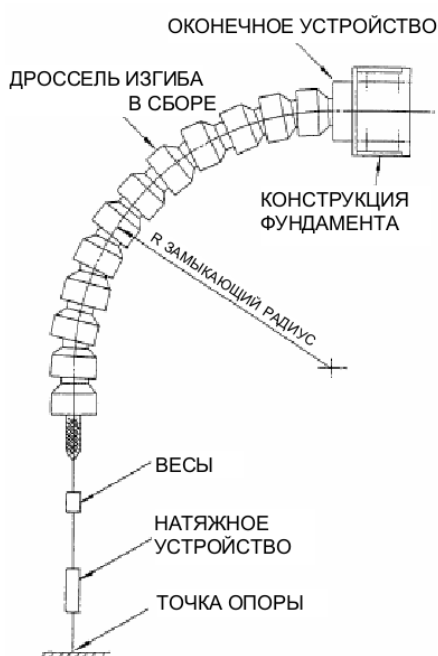


Рисунок 7.14 – Стандартная сборка для испытания ограничителя изгиба с достижением расчетной нагрузки

### 7.5.2.2 Порядок

7.5.2.2.1 Количество элементов ограничителя изгиба, которые собираются для испытания, должно быть достаточным для моделирования максимальной нагрузки при обслуживании или установке одного из элементов. Таким образом, сборка всего комплекта элементов не требуется.

7.5.2.2.2 Необходимое количество элементов ограничителя изгиба должно собираться на конструкции соединения или на шаблонах конструкции соединения с

соответствующими размерами и геометрией. Такая конструкция должна, в свою очередь, собираться на конструкции, которая по размерам и геометрии представляет прилегающую опорную конструкцию.

7.5.2.2.3 Элементы должны фиксироваться с помощью крепежных элементов с такими же характеристиками и фиксироваться с такой же силой зажима, как было определено на этапе проектирования для работы. Перед приложением нагрузок ограничитель изгиба необходимо проверить, чтобы убедиться, что все крепежные элементы находятся на месте.

7.5.2.2.4 Ограничитель изгиба должен быть замкнут, и после постепенно нагружаться до максимальной нагрузки при работе за согласованный период времени. Нагрузка обычно прилагается передвижением ремней или тросов по центру ограничителя изгиба и приложением бокового натяжения с помощью устройства натяжения. После необходимо измерить деформированный замкнутый радиус. После необходимо разобрать ограничитель изгиба.

#### 7.5.2.3 Критерии приемки

Разобранные элементы ограничителя изгиба при проверке не должны быть повреждены. Типичные признаки повреждения - растрескивание или искривление элементов ограничителя изгиба. Деформированный замкнутый радиус должен равняться указанному рабочему минимальному радиусу изгиба или быть выше, и должен соответствовать рассчитанному на этапе проектирования.

#### 7.5.3 Разрушающее испытание

##### 7.5.3.1 Описание

Целью разрушающего испытания является определение разрушающей нагрузки ограничителя изгиба и сравнение такой нагрузки с проектными расчетами.

##### 7.5.3.2 Порядок

Порядок такой же, как и порядок испытания пробной нагрузки, за исключением того, что нагрузка постепенно повышается до разрушения ограничителя изгиба. До испытания должны быть определены дополнительные требования к безопасности, так как разрушение элементов ограничителя изгиба может привести к разлету



поврежденных частей. Таким образом, персонал, проводящий испытания, должен находиться на безопасном расстоянии и носить защитную одежду и защитные очки.

#### 7.5.3.3 Критерии приемки

Разрушающая нагрузка должна быть равной рассчитанной в проекте или превышать ее, с учетом коэффициентов использования материалов.

### 7.6 Изготовление

#### 7.6.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству ограничителей изгиба. В данном подпункте описываются обычные процессы, выполняемые при производстве ограничителя изгиба.

#### 7.6.2 Производственный процесс - Элементы полимерного ограничителя изгиба.

7.6.2.1 Элементы полимерного ограничителя изгиба обычно изготавливаются введением в пресс-форму жидкого полиуретана, который после отвердевает и извлекается до отвердевания в печи. Пресс-форма имеет огромное значение для качества готового продукта, и должна быть прецизионно механически обработана. Отверстия крепежных элементов, которые позволяют закреплять вместе элементы ограничителя изгиба, могут обрабатываться отдельно от литого элемента ограничителя изгиба.

7.6.2.2 Процесс производства элемента ограничителя изгиба выполняется следующим образом:

- форма устанавливается при размещении центрального трубчатого элемента в форме;
- перед заливкой форма и сердцевина покрываются разделяющей смазкой;
- собранная форма размещается в печи и нагревается до установленной температуры;
- составляющие компоненты полимерного материала ограничителя изгиба смешиваются;
- смесь заливается в форму;
- после установления смеси ограничителя изгиба, элемент ограничителя изгиба

удаляется из формы и охлаждается;

-элемент жесткости на изгиб окончательно отвердевает, помещенный на горячий стол на для остывания до установленной температуры;

- необходимые болтовые отверстия обрабатываются в литом элементе ограничителя изгиба.

7.6.2.3 Альтернативный метод - литье грубых заготовок, которые после обрабатываются до необходимого профиля с помощью обработки на станке с ЧПУ.

7.6.2.4 Полностью отвердевшие элементы ограничителя изгиба подлежат детальной проверке до поставки, чтобы определить какие-либо дефекты поверхности.

7.6.3 Производственный процесс - Элементы металлического ограничителя изгиба

Элементы металлического ограничителя изгиба могут изготавливаться обработкой необходимого профиля элемента. Они могут также изготавливаться из стандартной трубы, когда фланцы привариваются к каждому концу короткой секции стандартной трубы, чтобы создать элементы ограничителя изгиба, как показано на рисунке 64. Кольцевые внешние узлы, в которых располагаются фланцевые концы стандартной трубы, производятся сваркой металлической пластины.

#### 7.6.4 Производство конструкции соединения

Конструкция соединения может быть сложным компонентом в зависимости от индивидуальных требований проекта. Конструкция производится таким же образом, как любые обычные металлические конструкции, свариванием серии компонентов и обработкой необходимых отверстий крепления для закрепления ее на опорной конструкции. Следующие этапы включают проверку методом неразрушающего контроля сварных швов конструкции соединения. Последний этап включает применение коррозионностойкого покрытия на внешних зонах конструкции.

### **7.7 Погрузочно-разгрузочные работы и монтаж**

#### 7.7.1 Общие сведения

Приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и монтажу ограничителей изгиба. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и

описывают типичный порядок установки.

#### 7.7.2 Погрузочно-разгрузочные работы

Необходимо быть внимательным при погрузочно-разгрузочных работах и установке, чтобы предотвратить падение элементов жесткости на изгиб, особенно изготовленных из полимерных материалов. Это может привести к растрескиванию, и может создать точку возникновения дефекта во время эксплуатации. Все случайно упавшие элементы необходимо проверить на наличие повреждений. Необходимо быть внимательным во время работ по установке, чтобы предотвратить удары элементов полимерного ограничителя изгиба о любые другие объекты. Также необходимо учитывать повреждения во время работ за бортом, когда ограничитель изгиба соприкасается с забортным желобом.

#### 7.7.3 Монтаж

7.7.3.1 Если ограничитель изгиба производится в форме разъемной сборки, его можно собрать вокруг гибкой трубы в море, закрепив полуобечайки элемента вместе. Необходимо обратить внимание на то, чтобы момент затяжки болтовых соединений соответствовал процедуре установки, так как чрезмерная затяжка может повредить элементы полимерного ограничителя изгиба. Необходимо регистрировать применяемую затяжку с подписями соответствующего персонала, ответственного за установку. Сборка создается ограничителем, полуобечайками, элементами и сцеплением всех последующих элементов с предыдущими.

7.7.3.2 Использование охватываемой конструкции соединения требует, чтобы элементы ограничителя изгиба были установлены в начале конструкции соединения, как показано на рисунке 7.15. И наоборот, использование обхватывающей конструкции соединения, как показано на рисунке 7.16, требует, чтобы элементы ограничителя изгиба устанавливались на расстоянии от конструкции соединения. Это не относится к ограничителям изгиба, изготовленным из стандартной трубы, как показано на рисунке 7.8, где отдельные элементы являются двунаправленными и их можно собирать в любой последовательности.

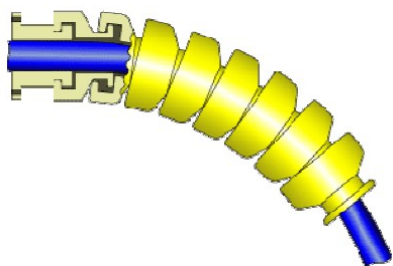


Рисунок 7.15 – Обхватываемая конструкция соединения ограничителя изгиба

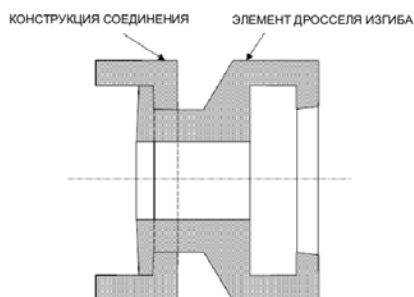


Рисунок 7.16 – Охватывающая конструкция соединения ограничителя изгиба

7.7.3.3 Если ограничитель изгиба не изготавливается в форме разъемной сборки, как ограничитель изгиба, изготовленный из стандартной трубы, он должен собираться вокруг гибкой трубы на берегу.

7.7.3.4 Конструкция соединения должна крепиться к прилегающей конструкции, а элементы ограничителя изгиба должны соединяться вместе в соответствующих случаях с помощью сил зажима, указанных производителем в процедуре установки в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)

7.7.3.5 Производитель должен рассмотреть защитную крышку для ограничителя изгиба, чтобы защитить его во время хранения в барабане или при других потенциально вредных погрузочно-разгрузочных работах и установке. Обычная защитная крышка может быть в виде пенопластовой подушки, которая привязывается к ограничителю изгиба.

7.7.3.6 Во время установки должны соблюдаться процедуры, чтобы кабели системы катодной защиты точно соединялись с элементами металлического ограничителя изгиба, и чтобы соединение и расположение регистрировалось. Таким

образом, ограничители изгиба не попадают за борт с неправильно установленными системами катодной защиты, которые могут не обеспечить надлежащей защиты.

## **7.8 Управление целостностью**

### **7.8.1 Общие сведения**

В 7.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### **7.8.2 Типы неисправностей и дефекты**

В таблице 4 указаны возможные дефекты для ограничителей изгиба.

### **7.8.3 Методы мониторинга - Общие сведения**

7.8.3.1 Общий осмотр выполняется, чтобы проверить дефекты 6.1, 6.2, 6.4, 6.5 и 6.7 - 6.9 в таблице 4, если возможен доступ. Обычно невозможно напрямую проверить дефект 6.6, если не установлено оборудование для измерения радиуса изгиба гибкой трубы во время эксплуатации вместе с длиной ограничителя изгиба с помощью оптоволоконного мониторинга.

7.8.3.2 Если имеется доступ, крепежные элементы, фиксирующие конструкцию соединения или промежуточную конструкцию на опорной конструкции, и фиксирующие элементы ограничителя изгиба должны осматриваться. Должен быть доступ в случае коррозии, отвинчивания или неисправности, в соответствии с дефектами 6.3 и 6.5. Будет невозможно проверить весь крепеж элементов ограничителя изгиба, только тот который не скрыт элементами ограничителя изгиба или иначе.

7.8.3.3 Трудно определить дефект 6.5, если невозможно измерить радиус изгиба гибкой трубы с помощью оптоволоконного мониторинга, например, или если произошедшее повреждение внешней оболочки гибкой трубы скрыто ограничителем изгиба.

### **7.8.4 Методы мониторинга - Полимерные ограничители изгиба**

Если полимерный ограничитель изгиба не исправен в соответствии с дефектом 6.1, его необходимо проверить, подвергался ли он воздействию острых кромок по неисправной линии, что могло бы привести к повреждению прилегающих подводных линий или гибкой трубы. Гибкая труба и прилегающие подводные линии должны

проверяться на наличие каких-либо нанесенных повреждений.

#### 7.8.5 Методы мониторинга - Металлические ограничители изгиба

7.8.5.1 В дополнение к 5.9.9.5, исследование защиты от коррозии для элементов металлического ограничителя изгиба должно включать проверку всех кабелей защиты от коррозии в отношении правильности их крепления с доступом ко всем местам крепления.

## 8 Раструбы

### 8.1 Общие сведения

В раздел 8 включены раструбы, которые используются для контроля связи на хомутах тросов. Рекомендации в данном пункте могут относиться к подводным кабелям.

### 8.2 Вопросы проектирования

#### 8.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию раструбов. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный подпункт относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- случаи расчетной нагрузки<sup>4</sup>

#### 8.2.2 Обзор проектирования

Проектирование раструба для данного состояния гибкой трубы обычно проводится на следующих этапах:

а) материалы раструба выбираются на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Руководство по выбору материалов см. в 8.3;

б) выполняется ряд статических и динамических общих анализов, при

необходимости, на гибкой трубе без раструба, чтобы обеспечить максимальные углы гибкой трубы от среднего положения;

в) входной диаметр раструба определяется на основании размеров опорной конструкции, т.е., I/J-образной трубы, хомута троса и т.д.;

г) раструб рассчитывается для максимального угла. Основные проектные параметры - входной диаметр и профиль раструба (см. проектные руководства в 8.2.3);

д) некоторые или все анализы этапа б) повторяются с включением спроектированного раструба для общей проверки проекта раструба.

е) система защиты от коррозии для металлических раструбов проектируется в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

ж) в динамическом применении, анализы усталости раструба выполняются с помощью диапазонов момента изгиба и количество циклов, воздействующих на гибкую трубу.

### 8.2.3 Проектирование раструба

8.2.3.1 Соединение между композитными раструбами и металлическими направляющими трубы должно сохраняться на протяжении определенного срока службы при прилагаемых нагрузках изгиба.

8.2.3.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы профиль раструба проектировался так, чтобы можно было предотвратить его повреждение или повреждение втяжных проводов во время установки. Гибкая труба может быть установлена втягиванием через I/J-образную трубу на платформе/судне с помощью втяжных тросов. Втяжной трос может потенциально повредиться, если он истирается или ударяется о поверхности раструба. Чтобы предотвратить это, может потребоваться несимметричный профиль раструба. В предыдущих конструкциях повреждение втяжных тросов было минимизировано с помощью расширения на нижнем крае раструба на стороне гибкой трубы платформы/судна. Как вариант, должна использоваться некоторая форма защитного устройства, чтобы предотвратить возможный контакт/протирание троса на выходе из раструба.

8.2.3.3 ГОСТ Р ИСО 13628-16 требует, чтобы были предприняты меры при проектировании раструба, чтобы избежать обрастания морскими организмами или

загрязнения раструба. Такое обрастание можно предотвратить нанесением покрытия, предохраняющего от обрастания, чтобы избежать обрастания морскими организмами, и применением отверстий, чтобы можно было удалять загрязнение.

8.2.3.4 Так как гибкая труба контактирует с раструбом, на нее также будет воздействовать эффективное натяжение  $T$ , как показано на рисунке 8.1. Проектировщик должен проверить, чтобы сочетание контактного радиуса и эффективного натяжения не превышало сопротивление разрушению гибкой трубы.

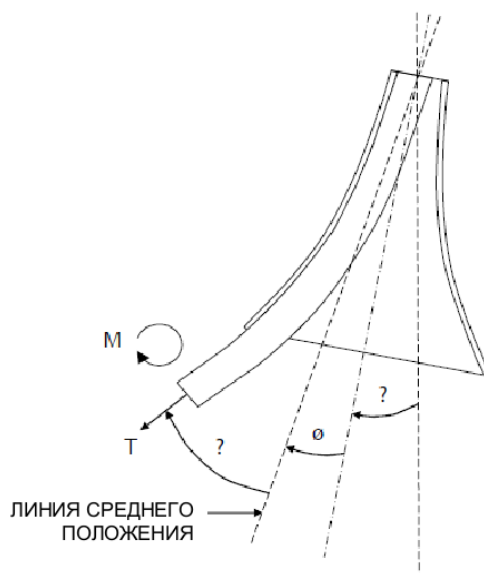


Рисунок 8.1 – Нагрузки раструба и максимальный угол гибкого трубопровода

#### 8.2.4 Максимальное изменение угла

Расчет раструба основывается на максимальных изменениях угла гибкой трубы  $\theta$  от среднего положения, как схематично показано на рисунке 72. Максимальный угол является результатом движений платформы/судна в условиях окружающей среды, включая волны и течения. Раструб может изначально предполагать угол  $\varphi$  по отношению к вертикали. В среднем положении гибкая труба может предполагать угол  $\vartheta$  в отношении оси раструба. Необходимо отметить, что изменение угла  $\theta$  гибкой трубы относится к среднему положению гибкой трубы. Максимальное изменения угла может быть больше одной определенной стороны среднего положения.

#### 8.2.5 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у раструба, см. в таблице 5. В таблице



5 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Таблица 5 – Возможные дефекты раструба

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
7.1	Неисправность раструба	<p>а) Потеря защиты раструба, чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы</p> <p>б) Возможное повреждение гибкой трубы от сломанных краев раструба</p> <p>с) Мусор в раструбе</p>	<p>а) Чрезмерный изгиб трубы вокруг раструба</p> <p>б) Удар от упавшего объекта или другой конструкции</p> <p>с) Усталостная поломка (только динамическое применение)</p> <p>д) Коррозия (только металлические раструбы)</p> <p>е) Неисправность сварного соединения (только металлические раструбы)</p> <p>ф) Заводской брак</p> <p>г) Водородное охрупчивание (только металлические раструбы)</p> <p>h) Старение композитных раструбов из-за влияния:</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании рабочих параметров, воздействия раструба, потери защиты MBR гибкой трубы</p> <p>б) Извлечение раструба, если он представляет риск для целостности системы гибкой трубы</p> <p>с) При необходимости, замена раструба с устройством ограничения изгиба либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы. Замена на месте требует средств закрепления ограничителя изгиба в условиях на море. Может быть трудно заменить раструб хомута кабель-троса из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</p>	<p>а) Выбор материалов.</p> <p>б) Увеличение конструкционной прочности, напр., увеличение толщины раструба (может ограничиваться прилегающей конструкцией, напр., толщиной I/J-образной трубы)</p> <p>с) Проектирование системы катодной защиты (только металлический раструб)</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			1) солнечного света (только поверхностные раструбы) 2) озона (только поверхностные раструбы) 3) морской воды 4) высокой температуры i) Ползучесть (только композитные раструбы) Неправильная конструкция		
7.2	Неисправность крепежных элементов раструба	а) Отсоединение сегментов раструба и снижение защиты раструба б) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления	а) Чрезмерный изгиб трубы вокруг раструба б) Усталостная поломка (только динамическое применение) в) Коррозия г) Заводской брак д) Водородная хрупкость е) Неправильная конструкция (слишком маленький	а) Обсуждение с производителем целостности раструба при пропущенных крепежных элементах б) Может быть возможно, если доступ позволяет, установить сменные крепежные элементы, если необходимо обеспечить целостность раструба или гибкой трубы	а) Выбор материалов б) Увеличение размера крепления в) Проектирование системы катодной защиты г) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			размер креплений) g) Неправильная установка (напр., крепления затянуты неправильно)		
7.3	Неисправность соединения с опорной конструкцией	a) Потеря раструба и последствия в соответствии с 8.1 b) Возможное ударное повреждение гибкой трубы из-за отсоединения раструба от опорной конструкции	a) Чрезмерный изгиб трубы вокруг раструба b) Удар от упавшего объекта или другой конструкции c) Усталостная поломка (только динамическое применение) d) Коррозия e) Неисправность сварного соединения f) Заводской брак g) Водородная хрупкость h) Неправильная конструкция i) Неправильная установка (напр., дефект сварного соединения на опорной конструкции)	Меры по исправлению в соответствии с 7.1 а) - с)	a) Конструкция крепежа, см. проектное решение/изменяемые параметры в соответствии с 7.2 а) - d) (соединения крепежа) b) Конструкция соединения (составные соединения) c) Конструкция сварного шва (сварные соединения)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
7.4	Гибкая труба недостаточно защищена от чрезмерного изгиба	Чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Чрезмерная деформация раструба</li> <li>б) Старение композитных раструбов из-за</li> <li>с) влияния: <ul style="list-style-type: none"> <li>1) солнечного света (только поверхностные раструбы)</li> <li>2) озона (только поверхностные раструбы)</li> <li>3) морской воды</li> <li>4) высокой темп</li> </ul> </li> <li>с) Ползучесть</li> <li>д) Неправильная конструкция</li> <li>е) Неправильная установка (напр., крепежные элементы, соединяющие секции раструба вместе, в соответствующих случаях, не затянуты, из-за чего гибкая труба может</li> </ul>	Меры по исправлению в соответствии с 7.1 а) - (с)	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Выбор материалов (если композитный материал слишком податливый)</li> <li>Изменение профиля раструба</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			чрезмерно изгибаться) Обрастание морскими организмами, посторонними частицами/объектам и в раструбе, что приводит к чрезмерному изгибу гибкой трубы		
7.5	Накопление сора в раструбе	а) Возможное повреждение внешней оболочки гибкой трубы и возможное увеличение коррозионности состояния расположенной внизу бронепроволоки б) Возможный чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы	а) Обрастание объекты (только для раструбов, направленных вверх) с) Подводная грязь	а) Удаление грязи б) Промывка кольцевого пространства трубы с помощью ингибитора коррозии, если есть разрыв внешней оболочки и, если нельзя гарантировать достаточный усталостный ресурс гибкой трубы при разрыве внешней оболочки. После, ремонт внешней оболочки (может не быть физического места для ремонтного хомута рядом с раструбом) с) Удаление поврежденной секции гибкой трубы и заделка в	а) Прodelывание отверстий в раструбе, чтобы мусор мог выпадать (ограничено по размеру отверстия, которое могло бы быть в конструкции) б) Использование раструба рамы, чтобы мусор мог выпадать (по возможности)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
				том месте, где поврежденная область находится близко к соединительной арматуре.	
7.6	удаление покрытия краской (только металлические раструбы)	Возможная коррозия конструкции	<p>а) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания</p> <p>б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно)</p> <p>в) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)</p>	Обращение к отчету по проектированию/производителя по вопросам с областью нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты; установка усовершенствованных анодов, если область превышает запроектированную.	<p>а) Выбор системы покрытия краской</p> <p>б) Проектирование системы катодной защиты</p>
7.7	Показания СР отличаются от технических требований.	Возможная коррозия металлических компонентов.	<p>а) Отключены кабели системы катодной защиты.</p> <p>б) Сломан анод(ы).</p> <p>в) Неправильное проектирование системы катодной защиты (т.е. неправильные массы анодов).</p>	Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту. Установка усовершенствованных анодов на длительный срок.	Проектирование системы катодной защиты.

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
7.8	Коррозия раструба или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезвычайно коррозионная среда.</li> <li>b) Неправильная защита системы катодной защиты.</li> <li>c) Повреждение системы покрытия краской.</li> <li>d) Отключение кабелей системы катодной защиты.</li> <li>e) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией.</li> <li>b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов.</li> <li>b) Проектирование системы катодной защиты.</li> </ul>
<p><sup>a</sup> Может быть не проектным решением, а профилактическими мерами в проверке управления целостностью раструба (см. 7.8.3.1).</p>					



#### 8.2.6 Проектные критерии

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы профиль раструба защищал гибкую трубу от чрезмерных динамических нагрузок, которые приводят к усталостной поломке трубы, в течение определенного срока службы. Движения низкой частоты могут влиять на характеристики усталости гибкой трубы с раструбом в качестве ограничителя изгиба. Течение влияет на среднюю конфигурацию системы гибкой трубы и получающееся среднее напряжение бронепроволоки. Раструбы могут быть чувствительны к среднему течению, которое передвигает точку контакта по направлению к отверстию раструба, если кривизна выше, приводя, таким образом, к большим изменениям динамической кривизны трубы. Подобным образом статические смещения могут значительно влиять на стояки с соединением раструба к плавучей добывающей платформе, так как смещение может сдвигать контактную точку райзера/раструба с большей кривизной.

#### 8.2.7 Случаи нагрузки - Статические

Случай статической нагрузки раструба включает максимальный момент изгиба, который передается к раструбу статичной гибкой трубой, как показано на рисунке 7.17.

#### 8.2.8 Случаи нагрузки - Динамические

Случай динамической нагрузки раструба также включает максимальный момент изгиба, который передается к раструбу динамической гибкой трубой, как показано на рисунке 7.16. Однако динамическая гибкая труба будет не постоянно контактировать с раструбом на протяжении срока службы, прилагая различную силу момента изгиба к нему. Таким образом, это представляет усталостную нагрузку. Случаи усталостной (динамической) нагрузки раструба включают выбор диапазонов момента изгиба и соответствующего количества циклов для каждого диапазона.

#### 8.2.9 Проектирование установки

Необходимо предусмотреть трехмерный общий анализ, чтобы определить уровни контакта между втяжными проводами и раструбом (см. рисунок 7.17) на основании углов втяжных проводов в соответствующих случаях. Анализ должен учитывать максимально допустимые условия окружающей среды во время втягивания. После его необходимо использовать в качестве основания для определения того,

требуются ли изменения конструкции раструба или защиты для каната, чтобы избежать повреждений раструба и троса. Также есть возможность того, что канат будет цепляться вокруг кромки входа раструба, как показано на рисунке 8.2.

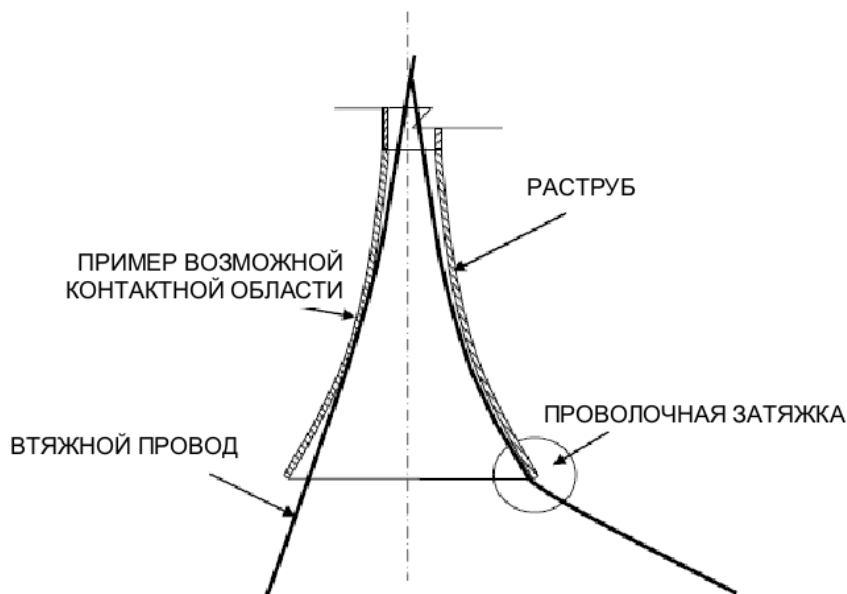


Рисунок 8.2 – Контакт раструба и втяжного каната

### 8.3 Материалы

#### 8.3.1 Общие сведения

В 8.3 указаны материалы, которые обычно используются в раструбах, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.

#### 8.3.2 Металлические материалы

Металлические раструбы обычно производятся из стали, что обеспечивает более высокую прочность, чем композиты (при большей массе). Металлические раструбы требуют защиты с помощью как коррозионноустойчивых покрытий, так и системы катодной защиты.

#### 8.3.3 Композитные материалы

8.3.3.1 Композитные раструбы производятся из винилового эфира, армированного стекловолокном, и из других пластиков, армированных волокном. Композитные материалы предлагают обоснованно высокую прочность, хотя и не такую

высокую, как у стали. Обычный предел прочности на растяжение композита может быть до 260 МПа в профилированном сечении.

8.3.3.2 Композитные раструбы могут быть выбраны, если важно минимизировать вес системы. При верхнем подвесном применении так можно минимизировать вес платформы/судна, особенно если имеется большое количество раструбов. При применении хомута тросов, композитный раструб минимизирует вес, воздействуя на сконцентрированную зону вдоль гибкой трубы.

8.3.3.3 Композитные раструбы также обладают собственным сопротивлением коррозии, поэтому система защиты от коррозии не нужна. Из композитных материалов могут изготавливаться достаточно сложные формы раструбов, которые могут потребоваться для определенного применения.

8.3.3.4 Композитные материалы раструба должны отображать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды (только для подводных раструбов);
- сопротивление гидролизу (только для подводных раструбов);
- ограниченное ухудшение свойств в результате старения;
- способность выдерживать ударные нагрузки от гибкой трубы;
- способность выдерживать циклическую нагрузку момента изгиба от гибкой трубы в течение срока службы без усталостного повреждения (только динамические применения);
- хорошее сопротивление УФ (только верхние раструбы).

Воздействие солнечного света на композитные раструбы зависит от определенного расположения раструба, и от того, обеспечивают ли конструкции частичную или полную защиту от солнечного света.

## **8.4 Вопросы анализа**

### 8.4.1 Общие сведения

Целью данного подпункта является предоставление рекомендаций по способам анализа раструбов.

### 8.4.2 Местный анализ

8.4.2.1 Самая простая форма раструба обладает постоянным радиусом по всей своей длине. Такая форма, однако, не обеспечивает наилучшую защиту от усталости. Таким образом, целесообразно проектировать больший радиус на верхней секции, где труба постоянно контактирует с раструбом, а меньший радиус - на нижней секции, где происходит только периодический контакт в чрезвычайных условиях.

8.4.2.2 Класс раструбов с линейным изменением искривления вдоль раструба может быть описан следующими параметрами:

$l_b$  – длина раструба, измеренная вдоль кривой стенки;

$\varphi_b$  – угол нижнего входа;

$k_b$  – искривление на нижнем входе (равняется  $yR_b$ , если  $R_b$  - радиус);

$\alpha$  – соотношение минимального (верхнего) и максимального (нижнего) искривления;

$R_b$  – минимально допустимый радиус изгиба;

$D_0$  – диаметр верхнего конца раструба;

$D_b$  – диаметр нижнего конца раструба.

На рисунке 8.3 представлен схематический чертеж параметров в конструкции раструба. Форма раструба может быть определена, как функция/следующим образом:

$$\varphi(l) = \frac{(1-\alpha^2)k_b^2}{4\varphi_b} \cdot l + (\alpha \cdot k_b \cdot l), \quad (5)$$

$$k(l) = \frac{(1-\alpha^2)k_b^2}{4\varphi_b} \cdot l + (\alpha \cdot k_b), \quad (6)$$

$$l_b = \frac{2\varphi_b}{(1-\alpha)k_b} \quad (7)$$

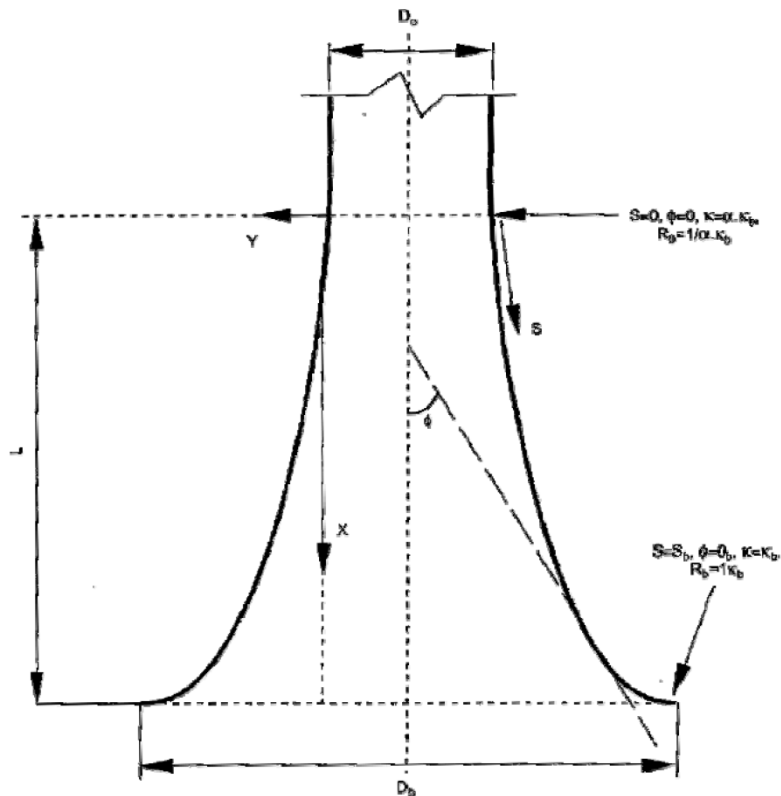


Рисунок 8.3 – Параметры, применяемые для определения формы раструба

8.4.2.3 В общем случае длина и диаметр раструба зависят от всего угла, а длина также зависит от соотношения минимальной (верхней) и максимальной (нижней) кривизны.

8.4.2.4 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы контактное давление, оказываемое на гибкую трубу в результате контакта с раструбом, было ниже допустимого контактного давления. Локальный анализ напряжения раструба и гибкой трубы должен рассматриваться, чтобы показать, что прикладываемое контактное давление при контакте гибкой трубы с внутренней поверхностью раструба остается ниже допустимого предела. Величина контакта зависит от профиля раструба, массы гибкой трубы и (в динамическом применении) динамического влияния, такого как скорость гибкой трубы и движения платформы/судна. Анализ должен рассматриваться для большинства чрезмерных углов гибкой трубы.

8.4.2.5 Анализ соединения между раструбом и гибкой трубой проверяется испытанием. КИПиА проектируются для измерения положения райзера на конце раструба из стеклопластика, а аппаратный цилиндр, состоящий из акселерометра и креномера, устанавливается на нескольких метрах ниже раструба райзера.

8.4.2.6 Контактное давление гибкой трубы - раструба определялось предварительно исследованием методом конечных элементов. Анализ методом конечных элементов считает раструб жесткой поверхностью, которая не предполагает контактного трения между гибкой трубой и раструбом, и не учитывает воздействие арматуры соединения. Необходимо оценить влияние таких параметров. Анализы выполняются для серии различных вращений подвешивания и эффективных натяжений.

#### 8.4.3 Общий анализ

8.4.3.1 Если в качестве ограничителя изгиба на соединении с плавучей добывающей платформой используется раструб, могут использоваться методы, аналогичные методам в 6.4.3.

8.4.3.2 Раструб можно моделировать в общем анализе или в усеченной локальной модели, как описано выше.

8.4.3.3 Упрощенные модели взаимодействия трубы с раструбами (например, без учета жесткости изгиба трубы и учет полной деформации трубы на поверхности раструба) могут использоваться для начальных оценок усталости. Если это приводит к недопустимым результатам усталостного ресурса, расширенные модели должны рассматриваться таким образом, чтобы в них четко учитывалась жесткость изгиба трубы (линейная или гистерезисная). Во многих случаях взаимодействие райзера/раструба рассматривается в промежуточной модели, хотя взаимодействие также может явно моделироваться в некоторых расширенных программах общего анализа, т.е. раструб можно моделировать в общем исследовании методом конечных элементов, если программное обеспечение по общему анализу включает использование контактных элементов, как части функциональности.

8.4.3.4 Общий анализ должен проверить, что чрезмерный изгиб гибкой трубы по раструбу отсутствует, т.е., что входной угол раструба достаточен для защиты гибкой трубы.

#### 8.4.4 Тепловой анализ - Композитные раструбы

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы производитель учитывал влияние температуры на поведение раструба. Гибкая труба может не иметь постоянного прямого контакта с раструбом, но необходимо учесть влияние температуры внутренней среды гибкой трубы на раструб.

Следующие параметры влияют на температурный градиент в раструбе, вызванный гибкой трубой:

- температура окружающего воздуха или морской воды в зависимости от обстоятельств;
- влияние изоляции слоев гибкой трубы;
- зазор между раструбом и гибкой трубой, который будет заполняться морской водой или воздухом в зависимости от нахождения раструба;
- зазор в цилиндрической части относится к разнице между ее внутренним диаметром и внешним диаметром гибкой трубы;
- уровень контакта гибкой трубы с раструбом;
- объем и продолжительность контакта может увеличить предрасположение к теплопередаче от гибкой трубы к раструбу;
- влияние нагревания от прямых солнечных лучей в соответствующих случаях.

#### 8.4.5 Статические раструбы

Раструб может использоваться для статической работы, если циклические нагрузки незначительны или отсутствуют. Таким образом, усталость можно не учитывать в процессе проектирования.

### 8.5 Процесс изготовления - металлические раструбы

8.5.1 Металлические раструбы могут изготавливаться свариванием серии металлических пластин, чтобы создать нужный профиль, см. рисунок 8.4. Необходимо

выбрать достаточное количество пластин, чтобы гарантировать получение нужного профиля.

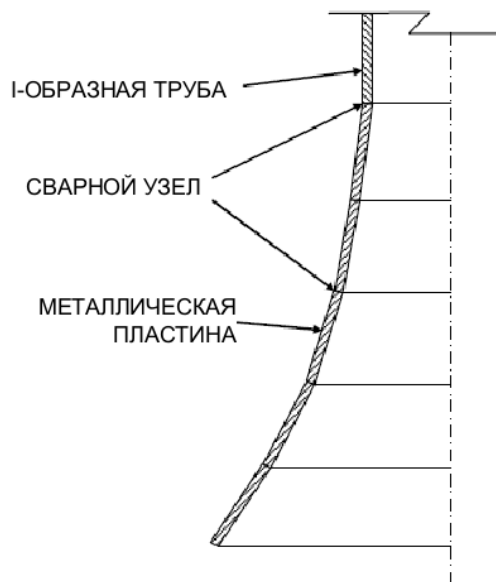


Рисунок 8.4 – Способ изготовления раструба

8.5.2 При использовании хомута кабель-троса, как правило, необходимо изготовить разъемную сборку, чтобы облегчить сборку раструба вокруг гибкой трубы. Таким образом, раструб можно собрать на любой точке вдоль гибкой трубы, а не проводить соединительную арматуру через раструб, что обычно либо неэффективно, либо физически невозможно. В таких случаях раструб изготавливается из половин, а каждая половина производится сваркой, как описано выше. Болтовые отверстия, обработанные на каждой половине, позволяют собирать раструб на море.

8.5.3 Важно, чтобы все острые кромки или неровности были устранены на внутренней поверхности раструба. Сварные соединения на внутренней поверхности должны быть отшлифованы начисто. Как вариант, раструб можно обработать на станке с ЧПУ, что обеспечит более гладкий профиль.

8.5.4 Вход раструба крепится к опорной конструкции платформы/судна, обычно с помощью сварки.

8.5.5 Композитные раструбы изготавливаются филаментной намоткой цилиндрической части и ручной скруткой профилированной выходной части.



Филаментная намотка включает прохождение прядей армирующего волокна через ванну матричного материала, и их обматывания на вращающейся оправке. Ручная скрутка включает зачистку слоев матричного материала с нерегулярными слоями армирующего волокна. Для укрепления конструкции и удаления захваченного воздуха обычно используется ролик. Если композитные раструбы прикреплены к стальным направляющим трубам, необходимо специальное вещество, склеивающее сталь с композитом.

## **8.6 Испытания опытного образца**

### 8.6.1 Применение испытаний опытного образца

Проектные параметры, которые необходимо учесть при запросе испытаний опытного образца в данном подпункте, в соответствии с рекомендациями 5.6.3:

- нагрузки, прилагаемые к контакту с гибкой трубой;
- расчетная температура, на которую влияет температура внешней оболочки гибкой трубы;
- материалы, в частности новый состав композитного материала в соответствующих случаях;
- процесс(ы) производства;
- внутренний и внешний диаметр гибкой трубы;
- выходные размеры и длина раструба.

Гибкая труба может расширять расчетные пределы для раструба; и в таком случае испытания опытного образца раструба обычно выполняются в связи с испытанием опытного образца гибкой трубы.

### 8.6.2 Испытание динамической усталости

#### 8.6.2.1 Описание

Целью испытания динамической усталости раструба является демонстрация того, что он может выдерживать момент циклического изгиба, прилагаемого к нему при контакте с гибкой трубой. Испытание динамической усталости раструба обычно выполняется одновременно с испытанием динамической усталости гибкой трубы, к которой он будет присоединен.

#### 8.6.2.2 Порядок

Рекомендации по испытаниям динамической усталости гибких труб с ограничителями изгиба представлены ISO 13628-11:2007 [1]. Сюда входят рекомендации по амплитуде угла, частоты и количества циклов, применяемые при испытании.

#### 8.6.2.3 Критерии приемки

Испытание динамической усталости раструба должно показать, что раструб обеспечивает необходимую защиту от чрезмерного изгиба для гибкой трубы в течение большого количества циклов, представляющих выполняемые в течение срока службы. Испытание должно дополнительно показать, что контактное давление, прилагаемое к гибкой трубе раструбом, не превышает допустимых пределов для гибкой трубы. Подробно о критериях приемки гибкой трубы для испытания динамической усталости, чтобы продемонстрировать, что вышеупомянутые критерии соблюдены. Чтобы сделать это, может потребоваться рассечение гибкой трубы.

Раструб должен пройти серию испытаний без нарушений. После испытания раструб необходимо проверить. На нем не должно быть никаких повреждений, например, трещин или не исправляемой деформации, которые могли бы указывать на неисправность из-за усталости и т.д.

После проверки раструба, испытание на усталость необходимо продолжить за пределами указанного количества циклов пока не произойдет поломка раструба, чтобы определить вероятность возникновения повреждения. Если раструб проектировался с использованием расчетов усталостного повреждения, такую вероятность возникновения повреждения можно сравнить с прогнозированной на этапе проектирования.

#### 8.6.3 Полномасштабное испытание на изгиб - композитные раструбы

##### 8.6.3.1 Описание

В случаях, когда композитный раструб подсоединяется через соединение к металлической направляющей трубе, характеристики соединения необходимо классифицировать, проведя полномасштабное испытание на изгиб, чтобы проверить,

может ли соединение выдерживать изгибающие нагрузки в течение определенного срока службы.

#### 8.6.3.2 Порядок

Испытание на изгиб должно выполняться для составного соединения между раструбом и конструкцией, которая представляет прилегающую конструкцию, т.е. I/J-образную трубу, по размерам и геометрически. Испытание на изгиб должно моделировать максимальный момент изгиба, который происходит в течение срока службы.

#### 8.6.3.3 Критерии приемки

Соединение должно пройти серию испытаний без нарушений, отсоединения или расслоения. После испытания соединение необходимо проверить. На нем не должно быть никаких повреждений, например, трещин или не устраняемой деформации, которые могли бы указывать на неисправность.

### **8.7 Установка**

#### 8.7.1 Общие сведения

В данном подпункте представлены руководства и рекомендации по установке раструба, включая общие вопросы, относящиеся к установке гибкой трубы с раструбом.

#### 8.7.2 Установка раструба

Раструбы обычно крепятся к платформе/судну до буксировки в море. Металлические раструбы обычно крепятся сваркой или болтами на прилегающей I/J-образной трубе. Композитные раструбы требуют прикрепления через специальные соединения к I/J-образным трубам.

Раструбы хомутов кабель-тросов требуют сборки на море. В таком случае раструб поставляется в виде разъемной сборки, которая собирается вокруг гибкой трубы на концах хомута кабель-троса.

#### 8.7.3 Установка гибкой трубы с раструбом

Необходимо проявлять осторожность во время работ по втягиванию, чтобы предотвратить ударное воздействие на раструб для предотвращения повреждения раструба или его защитного покрытия и предотвращения чрезмерных нагрузок на

I/J-образной трубе.

## **8.8 Управление целостностью**

### **8.8.1 Общие сведения**

В данном подпункте представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### **8.8.2 Типы неисправностей и дефекты**

В таблице 5 указаны возможные дефекты для раструбов.

### **8.8.3 Методы мониторинга**

8.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 7.1 - 7.3 и 7.5 - 7.8 в таблице 4, если доступ возможен. При применении с беспричальным наливом, раструб может находиться на несколько сотен метров ниже среднего уровня воды. Затруднительно произвести оценку, достаточную ли защиту обеспечивает раструб, если невозможно измерить радиус изгиба гибкой трубы во время эксплуатации, в соответствии с дефектом 7.4, при использовании оптоволоконного мониторинга, например. После измеренный радиус изгиба можно сравнить с рабочим минимальным радиусом изгиба. Раструбы необходимо проверить, если возможно, на наличие загрязнения в соответствии с дефектом 7.5.

8.8.3.2 Если позволяет доступ, необходимо осмотреть болтовые соединения, скрепляющие сегменты раструба, в соответствующих случаях, и фиксирующие раструб на опорной конструкции, для оценки коррозии, отсоединения или неисправности в соответствии с дефектом 7.2.

8.8.3.3 Раструб необходимо осмотреть, нет ли обрастания или посторонних частиц на внутренней поверхности раструба, которые могли бы потенциально снизить защиту гибкой трубы в соответствии с дефектом 7.4.

## **9 Модули плавучести и балластные модули**

### **9.1 Область применения**

Раздел 9 относится к модулям плавучести и к дискретно добавленному весу,

который составляет модули плавучести, когда элементы плавучести являются отрицательно плавучими. Рекомендации по постоянному добавленному весу (см. пункт 21), который относится к защите от истирания и защите от ударных воздействий.

Раздел 9 может применяться для подводных кабелей, кроме рекомендаций, относящихся к расчету силы зажима.

Рекомендации в разделе 9 относятся ко всем компонентам в модуле, включая элемент модуля, внутренний хомут и фиксирующие крепежные элементы. Некоторые рекомендации, относящиеся к внутреннему хомуту, даны в виде перекрестной ссылки на раздел 11, который относится к общим рекомендациям по зажимному устройству.

## **9.2 Вопросы проектирования**

### 9.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию модуля плавучести и балластного модуля. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный подпункт относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- случаи расчетной нагрузки.

### 9.2.2 Обзор проектирования

9.2.2.1 Процесс проектирования модуля включает проектирование сборки внутреннего хомута и проектирование элемента модуля.

Процесс проектирования внутреннего хомута представлен на схеме на рисунке 9.1 и обычно выполняется на следующих этапах.

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);
- определяется конфигурация внутреннего хомута, включая определение количества сегментов хомута и общей формы хомута;
- определяется размер отверстия внутреннего хомута, необходимый для

размещения габаритов гибкой трубы, включая допуски;

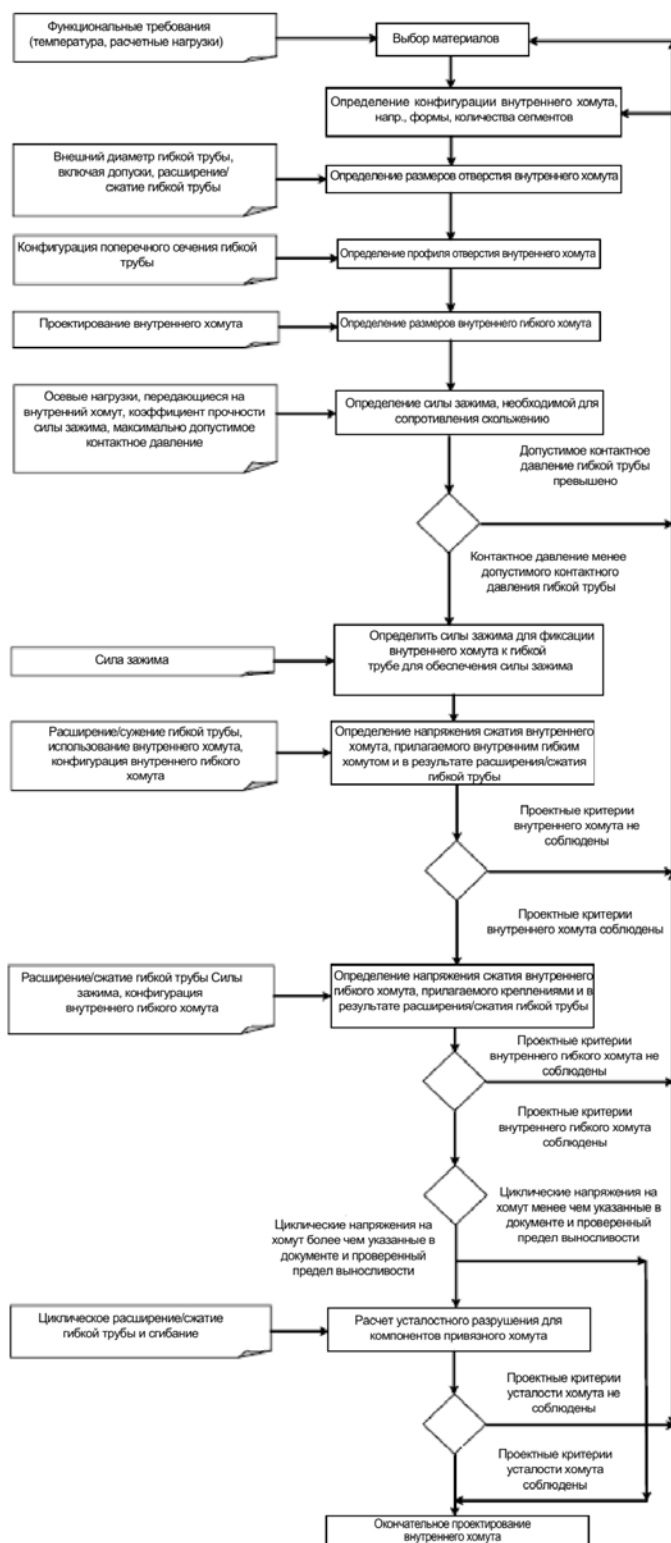


Рисунок 9.1 – Схема проектирования внутреннего хомута модуля плавучести и

балластного модуля

- определяется профиль отверстия внутреннего хомута для определенной трубной конструкции, на которой он будет зажат;

- определяются размеры внутреннего гибкого хомута, необходимые для установки вокруг внутреннего хомута;

- определяется сила зажима, необходимая для предотвращения спада и для соблюдения максимально допустимого контактного давления гибкой трубы.

Для расчета осевых нагрузок, воздействующих на элемент плавучести (которые передаются хомуту) требуются размеры модуля плавучести:

- определяются силы зажима, необходимые для обеспечения требуемого зажима.

- определяются сжимающие напряжения, прилагаемые к внутреннему хомуту в отношении соблюдения допустимых пределов материала хомута.

- определяются напряжения натяжения, прилагаемые к внутреннему гибкому хомуту в отношении соблюдения допустимых пределов материала гибкого хомута.

- если диапазоны напряжения превышают определенные в документах и проверенные пределы прочности, проводятся расчеты усталостного повреждения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

9.2.2.2 Процесс проектирования элемента модуля представлен в схеме на рисунке 9.2, и обычно выполняется на следующих этапах:

- выполняется ряд динамических анализов гибкой трубы, чтобы определить чистую плавучесть/чистый вес и длину покрытия модулями, необходимые для обеспечения нужной конфигурации гибкой трубы.

Динамический анализ должен также определить оптимальное расстояние между центрами и необходимую чистую плавучесть/вес на модуль. Общие руководства по анализу см. в 7.4.3. Общий анализ обычно выполняется по общему анализу райзера;

- материалы раструба выбираются на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

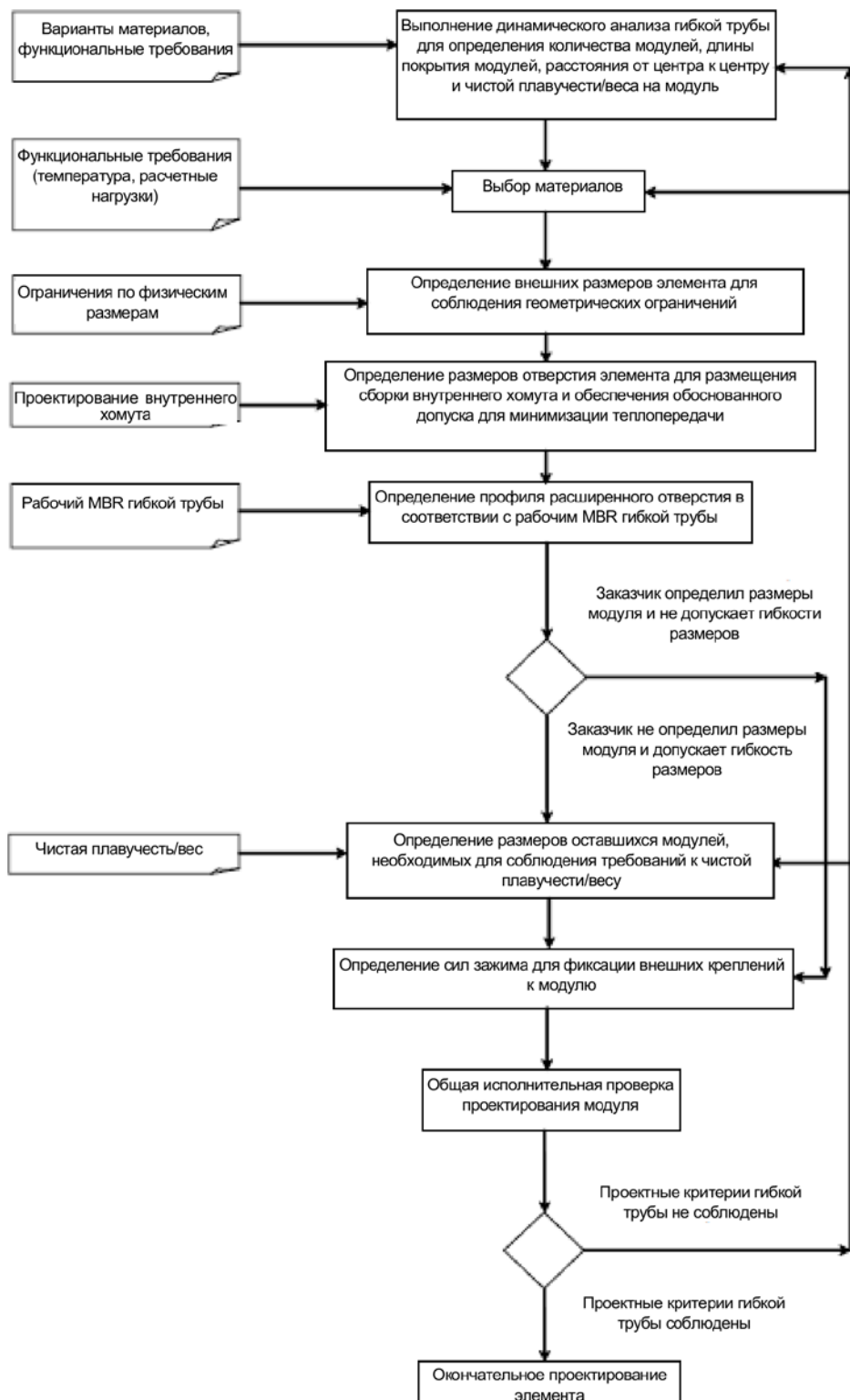


Рисунок 9.2 – Схема проектирования элемента модуля плавучести и балластного модуля



Выбранный материал должен обладать достаточной плотностью для обеспечения чистой плавучести/веса и должен быть способен выдерживать гидростатическое давление на расчетной глубине воды. Подробные руководства по выбору материалов см. 9.3;

- определяются внешние размеры элемента модуля, необходимые для соблюдения имеющихся геометрических ограничений, например, вызванных параметрами установки;

- определяются размеры элемента модуля, необходимые для размещения внутреннего хомута и минимизации теплопередачи от гибкой трубы, см. 9.2.7.2;

- определяется профиль расширенного отверстия в соответствии с рабочим минимальным радиусом изгиба гибкой трубы, см. 9.2.7.1;

- если не указаны размеры модуля или допустимая гибкость в размерах, определяются оставшиеся размеры модуля для соблюдения требования к чистой плавучести/весу, включая допуски для изменения плавучести/веса в течение срока службы, см. 9.2.12;

- определяются соответствующие силы зажима для фиксации внешних креплений к модулю;

- некоторые или все анализы этапа а) повторяются с включением исполнительных данных модуля, в качестве общей проверки конструкции модуля.

Общая проверка обычно выполняется производителем гибкой трубы или специалистом по общему анализу райзера. Общие руководства по анализу см. в 9.4.2.

### 9.2.3 Начальная и окончательная чистая плавучесть

Технические требования к начальной плавучести могут быть более подходящими, если расчетные критерии системы гибкой чувствительны к слишком высокой плавучести. И наоборот, технические требования к окончательной плавучести могут быть более подходящими, если расчетные критерии системы чувствительны к слишком низкой плавучести. Могут быть системы со строгими ограничениями по расстоянию между гибкой трубой и поверхностью, когда крайне важно, чтобы для плавучести был максимальный предел. Нефтяные отгрузочные линии могут быть крайне чувствительны к изменениям плавучести.

#### 9.2.4 Потеря модуля

Расчет сопротивления гибкой трубы в зависимости от количества модулей должен основываться на оценке риска системы гибкой трубы. Также оно должно основываться на выполнимости замены потерянных модулей и на частоте проверок управления целостностью. Чем чаще проводятся проверки, тем меньше времени система будет подвергаться воздействию без исследования потерянных модулей.

На основании общего количества модулей на гибкой трубе, общая рекомендация заключается в то, что гибкая труба рассчитывается на сопротивление потери следующего количества модулей:

- менее 15 модулей всего: потеря 1 модуля;
- от 15 до 39: 2 модуля;
- от 40 до 60: 3 модуля;
- более 60: 4 модуля или 4%, в зависимости от того, что больше.

Приемлемое количество потерянных модулей может изменяться на основании учета вышеупомянутых факторов для определенного применения. Вышеупомянутые потери отличаются от изменений плавучести, перечисленных в пункте 9.4.3.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16, так как они представляют физическое удаление материала с определенной длины покрытия гибкой трубы модулями. Потерянные модули это те, которые больше не соответствуют своим функциональным требованиям. Сюда, следовательно, входят модули, которые были физически отломаны от гибкой трубы, а также те, которые далеко соскользнули по гибкой трубе, чтобы не оказывать влияние на плавучесть/вес начальной определенной длины покрытия. При анализе гибкой трубы, потерю модуля необходимо анализировать с помощью обычных критериев в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-2.

Примечание - Вышеупомянутые критерии представляют критерии потери 10 %, как показано на рисунке 9.3, с учетом того, что такие 10% округляются до ближайшего целого числа. Критерии основывались на гибких трубах со сравнительно небольшим количеством подсоединенных модулей (около 10). Пункт а) вышеупомянутых критериев такой же, как и у оригинальных критериев. Более современные системы гибких труб могут обладать сравнительно большим количеством модулей, и необходимо снизить критерии для большего

количества модулей. Чем больше общее количество модулей, тем ниже считается вероятность потери фиксированного процента модулей, с учетом того, что дефект не является системным.

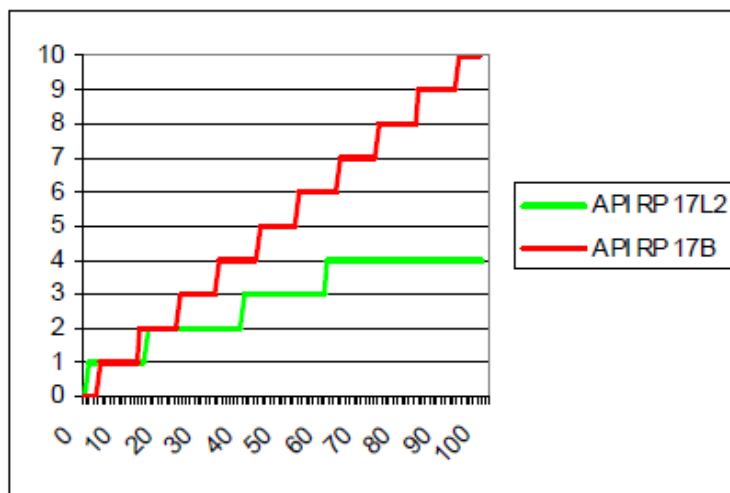


Рисунок 9.3– Сравнительная диаграмма критериев потери модуля

#### 9.2.5 Высокая и низкая плавучесть

Для некоторых систем гибкой трубы может быть полезно иметь различные концентрации плавучести на единицу длины в различных зонах на ее протяжении. Например, может быть желательно получить сравнительно низкую плавучесть на единицу длины в одной зоне и сравнительно высокую плавучесть на единицу длины в другой. Такие участки низкой и высокой плавучести могут создаваться двумя путями. Первый - это использование элементов плавучести с различной плотностью, что требует нескольких типов модулей плавучести. Вторым путем - это настройка расстояния между центрами модулей, чтобы изменять интенсивность плавучести, удерживая, таким образом, только один тип модуля плавучести.

#### 9.2.6 Расстояние между модулями

9.2.6.1 Расстояние между центрами модулей, как показано на рисунке 9.4, относится как к общей длине секции с прикрепленными модулями, так и к длине отдельных модулей. Расстояние - это ключевой фактор с точки зрения моделирования, установки и обеспечения. Полезно, с точки зрения моделирования, иметь большое количество небольших модулей, в противоположность небольшому количеству больших модулей. Большое количество небольших модулей будет иметь сравнительно

меньшую неоднородность физических свойств между модулями и гладкой трубой. Большие модули также могут быть более громоздкими, чем небольшие для обработки на палубе судна. Однако большое количество (небольших) модулей увеличивает время установки.

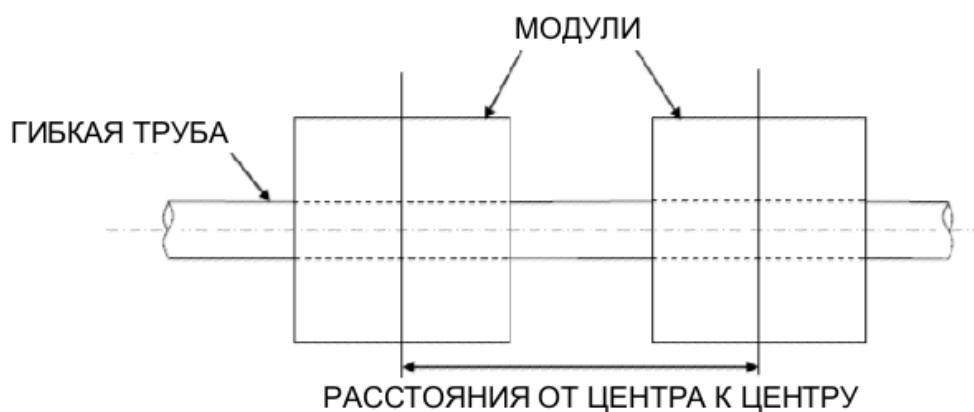


Рисунок 9.4 – Расстояние между центрами модулей

9.2.6.2 Проектирование модулей должно быть выполнено таким образом, чтобы большие модули с широкой расстановкой, позволяли полностью закрывать двери буровой шахты между модулями.

9.2.6.3 Расстояние между модулями влияет на количество модулей, необходимых по объему поставки производителя, и может использоваться для контроля концентрации плавучести/веса, вместо модулей различного типа (см. 8.2.5).

9.2.6.4 Расстояние между модулями может влиять на добавленный вес и коэффициент сопротивления системы гибкой трубы, и на реакцию кривизны гибкой трубы. Расстояние между модулями приводит к большой не поддерживаемой длине гибкой трубы, что может вызвать чрезмерный изгиб трубы во время установки или эксплуатации. Выбор определенного расстояния должен поддерживаться дискретным моделированием модулей, когда может произойти такой чрезмерный изгиб. Обычное расстояние между центрами модулей для цилиндрических модулей плавучести в три раза больше внешнего диаметра модуля. Однако при определении подходящего расстояния необходимо учитывать вышеупомянутое влияние.

### 9.2.7 Проектирование элемента модуля

9.2.7.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы рабочий минимальный радиус изгиба гибкой трубы соблюдался в зоне, где гибкая труба выходит из отверстия. Конструкция элемента модуля должна быть такой, чтобы механические нагрузки не передавались от гибкой трубы на него, только если в конструкции специально не учтена передача таких нагрузок. В частности, геометрия конструкции элемента модуля должна быть такой, чтобы не происходил контакт между элементом и гибкой трубой, с учетом максимальной кривизны гибкой трубы при установке и эксплуатации. Это обычно получается при внедрении расширяющегося отверстия в геометрию элемента модуля, как показано на рисунке 9.5, на котором показан типичный элемент плавучести в разрезе.

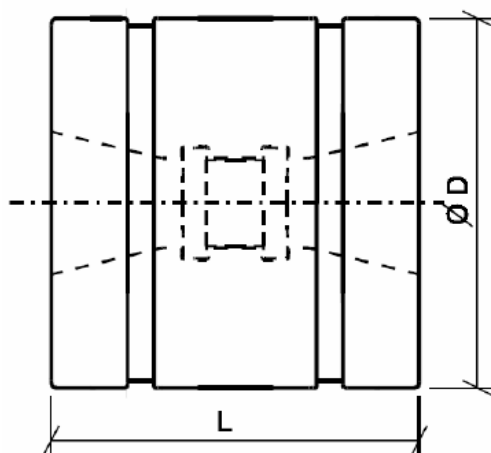


Рисунок 9.5 – Стандартный элемент плавучести в разрезе с расширяющимся отверстием

9.2.7.2 Материалы элемента модуля обычно теплоизолируются от гибкой трубы, насколько это возможно. Два метода, которые могут использоваться вместе, обычно применяются для предотвращения чрезмерной теплопередачи от гибкой трубы к элементу. Первый допускает достаточный зазор между элементом модуля и сборкой внутреннего хомута, так, что температура, передаваемая элементу модуля, является приемлемой для материала элемента модуля. Второй метод – это выполнение литых каналов от внешней поверхности элемента модуля к гнезду внутреннего хомута всех

модулей, чтобы была возможна циркуляция морской воды. Необходимо рассмотреть изолирующее влияние корпуса хомута и морской воды при определении теплоты, передаваемой элементу модуля.

9.2.7.3 Внешняя оболочка обычно прилегает к элементу модуля для обеспечения сопротивления ударным воздействиям и сопротивления истиранию. Обычная толщина внешней оболочки 10 мм.

9.2.7.4 Размер модулей обычно определяется (для длины и диаметра), как превышающий приблизительно в два-три раза внешний диаметр трубы, хотя размеры зависят от требований к плавучести и установке.

#### 9.2.8 Проектирование внутреннего хомута

9.2.8.1 Отверстие хомута может быть гладким или профилированным для определенной внешней оболочки, к которой он крепится. Профилированное отверстие увеличивает силу трения между гибкой трубой и корпусом внутреннего хомута. Однако производитель должен обсудить с производителем гибкой трубы пригодность профиля отверстия для использования с гибкой трубой.

9.2.8.2 Внутренние гибкие хомуты могут терять натяжения по своей длине в результате трения с внутренним хомутом, известного как тяговый эффект. Внутренние гибкие хомуты должны компоноваться таким образом, чтобы распределение натяжения вдоль окружности гибкого хомута обеспечивало достаточный зажим по окружности гибкой трубы, к которой присоединяется корпус внутреннего хомута. Этого можно достичь смазкой взаимных контактных поверхностей внутреннего хомута и внутреннего гибкого хомута или другими способами.

#### 9.2.9 Проектирование внутреннего хомута балластного модуля

Масса балластного модуля в воздухе значительно выше, чем аналогичного модуля плавучести такого же объема. Таким образом, требуется больший зажим для балластного модуля для сопротивления его массы в воздухе, чем для эквивалентного модуля плавучести.

#### 9.2.10 Внешние крепежные элементы

9.2.10.1 Обычная внешняя система обвязки состоит из плоских лент, натянутых обычной сборкой крестовин и винтов, которые устанавливаются в гнезда гибкого хомута. Пример такого гнезда хомута показан на рисунке 80. Гнездо не позволяет сборке выйти за пределы модуля. После натяжения сборка фиксируется с помощью стопорной гайки, чтобы предотвратить отсоединение в течение срока службы. При альтернативной системе внешнего крепления, полуобечайки модуля соединяются вместе коррозионностойкими болтами.

9.2.10.2 Полуобечайки элемента модуля часто имеют литые охватываемые выступы на сопрягаемой поверхности, которые вставляются в соответствующие охватывающие гнезда на сопрягаемой полуобечайке элемента модуля. Это помогает системе действовать в качестве направляющей, когда полуобечайки соединяются вместе, формируя целый модуль.

#### 9.2.11 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у модуля плавучести и балластного модуля указаны в таблице 7 (см. 9.8). В таблице 7 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

#### 9.2.12 Общие проектные критерии

9.2.12.1 В течение срока службы элемент плавучести может обрастать морскими организмами. Объем и тип обрастания зависит от географического положения и глубины воды. Воздействие обрастания снижает плавучесть или увеличивает вес модуля. Если в определенных условиях есть обрастание, расчет плавучести должен включать допуски для поправки на вес обрастания. Расчет веса балластного модуля должен учитывать вес обрастания, например, так, чтобы общий вес не превышал указанные пределы. Можно предотвратить обрастание путем использования покрытий, предохраняющих от обрастания.

9.2.12.2 Расчет необходимой чистой плавучести/веса должен включать, в соответствующих случаях, допуски на сдвиг/учет веса в воде для компонентов, которые могут быть не плавучими, например:

- внутренний хомут;
- внутренний гибкий хомут;

- крепежные элементы;
- внешние гибкие хомуты;
- натяжные сборки;
- внешняя оболочка.

Допуски модулей в производственном процессе дают определенный уровень изменений плавучести/веса элемента модуля, см. 8.6.9.

#### 9.2.13 Расчетные критерии модуля плавучести

9.2.13.1 Расчетные критерии для изменения плавучести, гидростатического давления и потери модуля плавучести даны в пункте 9.4.3 ГОСТ Р ИСО 13628-16. В этом подпункте даны руководства и рекомендации, относящиеся к соблюдению таких расчетных критериев модулей плавучести.

9.2.13.2 Снижение плавучести должно быть минимизировано для соблюдения расчетных критериев выбора материала синтактической пены, на основании модуля объемной упругости, сопротивления скольжению и характеристик впитывания воды. Обсуждение свойств таких материалов см. в 9.3. Обычное снижение плавучести из-за кратковременных и долговременных механических нагрузок (т.е., не включая обрастания и влияние производства) в течение срока службы - 5%.

#### 9.2.14 Нагрузки

На рисунке 9.6 показаны основные нагрузки, которые воздействуют на модуль. Гидростатическое давление, воздействующее на глубине - основная нагрузка, воздействующая на элемент во время эксплуатации. На модуль может воздействовать большее давление во время установки, чем во время эксплуатации, в зависимости от способа установки. На внутренний хомут воздействуют расширения и сжатия гибкой трубы во время эксплуатации, а также изгиб гибкой трубы во время эксплуатации. Циклический изгиб корпуса хомута обычно незначительный. Расширения и сжатия могут быть вызваны изменениями внутреннего давления и температуры и изменениями эффективного натяжения гибкой трубы. Расширения и сжатия могут быть более неблагоприятными во время установки.



РАСШИРЕНИЕ И СЖАТИЕ ГИБКОЙ ТРУБЫ

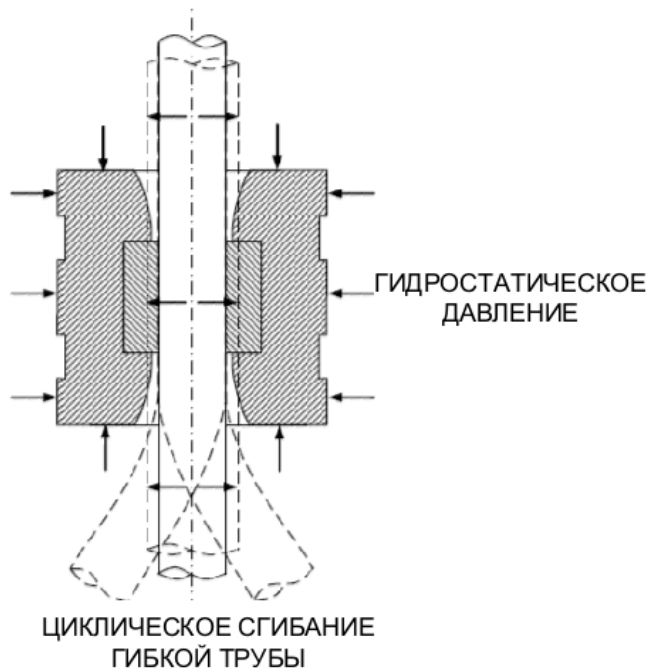


Рисунок 9.6 – Нагрузки модуля плавучести

#### 9.2.15 Процесс установки

9.2.15.1 Физические размеры буровой шахты могут ограничивать конструкцию модуля, если планируется развернуть гибкую трубу с прикрепленными модулями через нее во время процесса установки (см. 9.2.6.2).

9.2.15.2 Установочная башня может ограничивать внешние габариты модуля, в частности, когда используются гибкие трубы большого диаметра, такие как нефтяные отгрузочные линии. Таким образом, необходимо указать имеющееся место в установочной башне. Может потребоваться не цилиндрическая конструкция модуля, чтобы соответствовать размерным ограничениям башни установки при сохранении требований к чистой плавучести.

9.2.15.3 На модуль воздействуют ударные нагрузки от воздействия волн во время установки, когда он проходит через средний уровень воды, как показано на рисунке 9.7. Ударные нагрузки от воздействия волн - это аксиальная сила, которую должен выдерживать внутренний хомут, чтобы предотвратить соскальзывание по гибкой трубе. Необходимо определить приемлемые условия окружающей среды для

прохождения модуля через средний уровень воды, так, чтобы ударные нагрузки от воздействия волн не повреждали модуль.

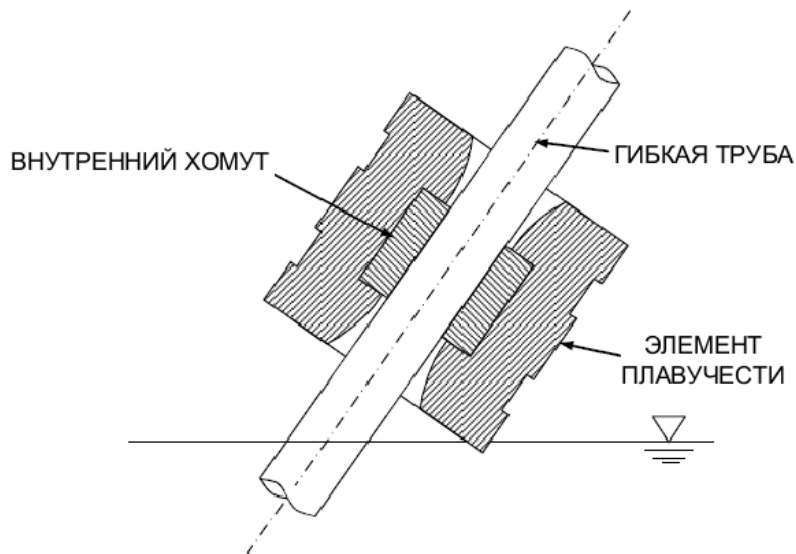


Рисунок 9.7 – Условия ударных нагрузок от воздействия волн

### 9.3 Материалы

#### 9.3.1 Общие сведения

В 9.3 указаны материалы, которые обычно используются в модулях плавучести и балластных модулях, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов. Некоторые ключевые свойства материалов рассматриваются в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) в отношении их значения для характеристик модуля плавучести.

#### 9.3.2 Материалы элемента плавучести

9.3.2.1 Элементы плавучести изготавливаются из композитной синтактической пены, которая обычно заключена в защитную внешнюю оболочку. Преимуществом такой композитной синтактической пены является высокая прочность в сочетании с низкой плотностью.

9.3.2.2 Такие материалы создаются с низким впитыванием воды и гидростатическим сжатием. Матрица состоит из базового полимера, содержащего стеклянные сферы и термопластик, эпоксидный стеклопласт или макросферы из

углеродного волокна, которые могут быть 50 мм в диаметре. Высокая прочность обеспечивается микросферами и, в меньшем объеме, макросферами.

9.3.2.3 Внешняя оболочка элемента плавучести может быть изготовлена из полиэтилена, полиуретана, эпоксидного пластика, армированного стекловолокном, или другого полимера. Эти материалы выбираются для обеспечения хорошего сопротивления истиранию и хорошего сопротивления обрастанию и для улучшения характеристик впитывания воды. Обычные материалы внешней оболочки обладают плотностью в районе 1 000 кг/м<sup>3</sup>, что делает их нейтрально плавучими.

#### 9.3.3 Материалы балластного модуля

Материалы балластного модуля в основном такие же, как те, которые используются для модуля плавучести, за исключением более плотного материала (например, бетона), который используется в балластном элементе.

#### 9.3.4 Материалы внутреннего хомута

9.3.4.1 Внутренний хомут обычно изготавливается из композитного материала. Композитный материал предлагает крепкий, жесткий и при этом легкий компонент, который обеспечивает эластичность, достаточную для размещения расширения и сжатия гибкой трубы.

9.3.4.2 Внутренний гибкий хомут может быть сделан из титана или арамидного волоконного композита. Оба материала подходят, поскольку обладают низкой плотностью, являются коррозионностойкими и обладают достаточной эластичностью для принятия расширения и сжатия гибкой трубы. Внутренний гибкий хомут может фиксироваться с помощью титановой или другой коррозионностойкой крепежной сборки.

#### 9.3.5 Материалы внешнего крепления

Внешние гибкие хомуты обычно делаются из арамидного волоконного композита с арамидными волокнами, параллельными прилагаемому натяжению. Гибкие хомуты обычно удерживаются вместе сборками натяжения, изготовленными из высококоррозионностойких материалов. Элементы плавучести также могут крепиться друг к другу с помощью болтов, сделанных из подобного коррозионностойкого материала.

### 9.3.6 Коэффициент объемного сжатия

9.3.6.1 Если коэффициент объемного сжатия композитной синтактической пены ниже, чем у морской воды (2,070 МПа), объем будет снижаться при расчетной глубине воды, а, следовательно, плавучесть тоже. В таком случае, когда элемент плавучести устанавливается на расчетную глубину воды, он может подвергаться мгновенному снижению объема, пропорциональному коэффициенту объемного сжатия материала. Выбор материала плавучести с высоким коэффициентом объемного сжатия снижает объем такой начальной потери плавучести. Чем выше коэффициент объемного сжатия, тем ниже будет объемное сжатие.

9.3.6.2 Если коэффициент объемного сжатия композитной синтактической пены выше, чем у морской воды, плавучесть немного увеличивается из-за большей плотности морской воды по сравнению с плотностью композитной синтактической пены.

9.3.6.3 Коэффициент объемного сжатия важен для модулей плавучести, поскольку он представляет изменение объема (и, следовательно, изменение плотности) при изменении гидростатического давления. Коэффициент объемного сжатия для изотропных материалов можно рассчитать по следующей формуле:

$$K = E/3(1-2\nu), \quad (8)$$

где  $K$  – коэффициент объемного сжатия;  
 $E$  – модуль упругости при растяжении;  
 $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Поэтому, в таких случаях нет необходимости испытывать такое свойство.

Изменение объема под давлением можно рассчитать по коэффициенту объемного сжатия следующим образом:

$$\Delta V/V = p/K, \quad (9)$$

где  $\Delta V$  – изменение объема;  
 $V$  – начальный объем;  
 $p$  – прилагаемое гидростатическое давление;  
 $K$  – коэффициент объемного сжатия.

### 9.3.7 Гидростатическая ползучесть

В течение срока службы элемент плавучести будет подвергаться постепенному

уменьшению объема из-за ползучести. Это происходит из-за постоянного влияния гидростатического давления. Сопротивление гидростатической ползучести - важное свойство, поскольку гидростатическая ползучесть композитной синтактической пены увеличивает ее плотность и, следовательно, снижает ее плавучесть.

#### 9.3.8 Гидростатическая прочность

Гидростатическая прочность отражает максимальную глубину, на которой может работать композитная синтактическая пена. Гидростатическую прочность можно измерить с помощью мелкомасштабных образцов композитной синтактической пены или с помощью полномасштабных элементов плавучести в камере гидростатических испытаний. Полномасштабное гидростатическое испытание под давлением определит разницу гидростатической прочности между небольшим объемом и большим (полномасштабным) объемом композитной синтактической пены. Обычное испытание проводится на протяжении 96 ч на одном элементе плавучести.

#### 9.3.9 Плотность

9.3.9.1 Плотность - это ключевой фактор для материалов плавучести, так как обеспечивает чистую выталкивающую силу. Плавучесть проверяется после изготовления, путем выполнения полномасштабных испытаний плавучести на образце модулей в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16. Плавучесть обычно измеряется погружением в пресную воду, так как применение морской воды требует использования коррозионностойких водных емкостей для испытания. Как правило, материалы с очень низкой плотностью не подходят для работы на глубине, что требует компромиссного решения между рабочей глубиной и плотностью.

9.3.9.2 Композитная синтактическая пена бывает плотностью от  $300 \text{ кг/м}^3$  до  $600 \text{ кг/м}^3$ ; каждая плотность обладает сопоставимым максимальным гидростатическим давлением. Плавучесть пены обеспечивается тем фактом, что микросферы и макросферы полые и заполнены газом.

9.3.9.3 Поскольку объем макросфер намного больше по сравнению с микросферами, они могут снижать плотность синтактической пены в большей степени, чем одни микросферы. Наличие микросфер в полимерной матрице может обычно

снижать плотность до  $500 \text{ кг/м}^3$  -  $600 \text{ кг/м}^3$ ; дальнейшее добавление макросфер может снизить плотность композита до  $300 \text{ кг/м}^3$  -  $400 \text{ кг/м}^3$ .

#### 9.3.9.4 Факторы, снижающие плотность в течение срока службы:

- начальное упругое сжатие;
- ползучесть;
- впитывание воды;

#### 9.3.10 Впитывание воды

9.3.10.1 Все полимеры поглощают воду в некотором объеме, независимо от их химического состава и обработки поверхности. Впитывание воды приводит к снижению плавучести из-за поглощенной воды. Так как материалы плавучести содержат полимерную матрицу, их необходимо выбирать таким образом, чтобы впитывание воды было минимальным.

9.3.10.2 Основными факторами, влияющими на впитывание воды, являются температура и давление. Для большинства систем плавучести имеет значение только влияние давления. Предельное значение насыщения материала при впитывании воды в основном зависит от ячеистой структуры и, как правило, не зависит от температуры. Внешние покрытия с низкой проницаемостью, например, полиэтилен и стеклопластиковый композит, могут использоваться для замедления скорости впитывания воды, хотя они не могут полностью предотвратить впитывание воды.

9.3.10.3 Впитывание воды зависит от ячеистой структуры материала. Синтактическая пена обладает благоприятными характеристиками впитывания воды, с обычным значением насыщения 5% увеличения массы за 20-летний срок службы.

9.3.10.4 Было определено с помощью гидростатических испытаний, что впитывание воды синтактической пеной резко возрастает, свыше 70% ее гидростатического давления разрушения. Это происходит из-за того, что впитывание воды значительно усиливается гидростатическим давлением, превышающим изостатический предел текучести синтактической пены, которое обычно составляет приблизительно 70% - 80% гидростатического разрушающего давления. Однако коэффициент прочности по гидростатическому разрушающему давлению, как указано в

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), составляет 1,5, т.е. предельное значение 67 % гидростатического разрушающего давления.

#### **9.4 Вопросы анализа**

##### 9.4.1 Общие сведения

Целью 9.4 является предоставление рекомендаций по способам общего анализа модулей плавучести.

##### 9.4.2 Общий анализ

9.4.2.1 Модули плавучести могут моделироваться в общем анализе непосредственно или при использовании аппроксимирующего метода, когда плавучая секция моделируется равномерным распределением плавучести. Преимущество данного метода заключается в скорости и легкости моделирования.

9.4.2.2 При дискретном методе, компонент усилия отжима каждого модуля вызывает местную концентрацию кривизны в точке приложения, что не происходит при применении аппроксимирующего метода. Это показано на рисунке 9.8, на котором представлен пример наложенных графиков кривизны, аппроксимирующей и дискретной моделируемой плавучести для 10-дюймового (250 мм) гибкого райзера на глубине 90 м (295 футов). Более точное прогнозирование такой локальной кривизны может быть важно при использовании дискретного метода на мелкой глубине (приблизительно до 150 м (490 футов)), где может быть значительное влияние динамических волн на рабочей глубине модуля плавучести, в частности, в зонах гибкой трубы с натяжением низкой эффективности. Такая локальная кривизна имеет тенденцию к возрастанию при увеличении плавучести отдельного модуля.

СРАВНЕНИЕ СМАЗАННОЙ И ДИСКРЕТНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ

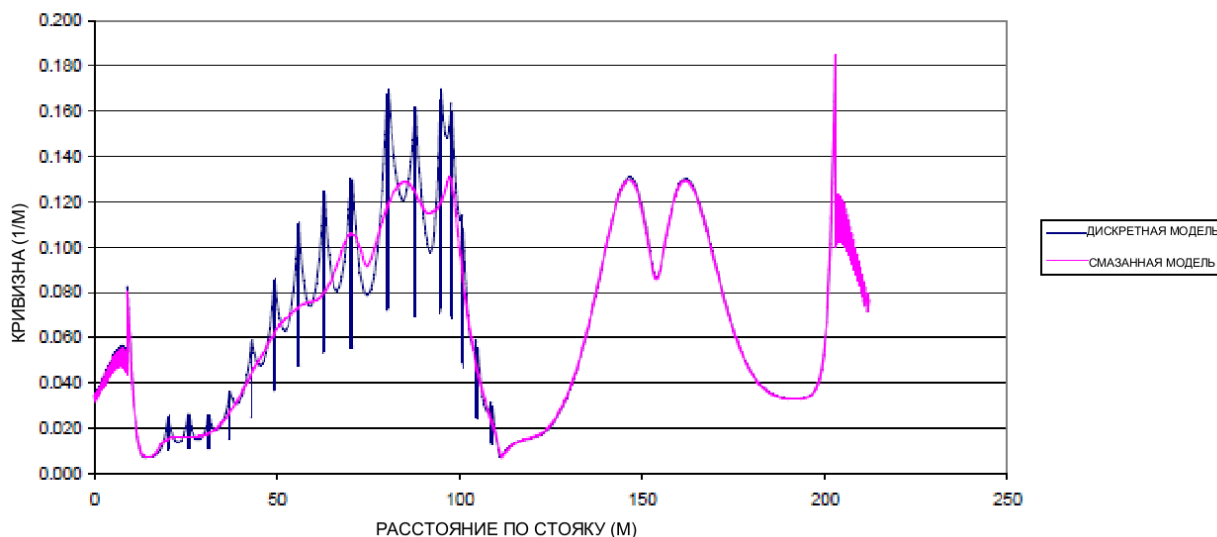


Рисунок 9.8 – Диаграмма распределения кривизны гибкого райзера при применении аппроксимирующего и дискретного подходов

9.4.2.3 Если модули плавучести обладают значительной прочностью в отношении трубы, к которой они прикреплены, необходимо применять дискретное моделирование, например, для гибких труб со связующими слоями с низкой прочностью. Данное правило не относится к гибким трубам, особенно к трубам с большим диаметром.

9.4.2.4 Производителю модулей может потребоваться изменить конфигурацию модуля, которая предполагалась в общем анализе, чтобы гибкая труба могла свободно изгибаться, а критерии рабочего минимального радиуса изгиба были соблюдены (см. 8.2.7.1). Это могло бы быть отражено в изменении внешних размеров модуля, которые могут влиять на гидродинамические свойства. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует общего проверочного расчета, чтобы учесть окончательные размеры модуля.

9.4.2.5 Количество модулей в большей степени основывается на весе райзера, глубине воды, требованиях к отводам и вопросах производства/коммерции.

### 9.4.3 Анализ усталости

Внутренние гибкие хомуты могут изготавливаться из титана. Кривые S-N по умолчанию представляют синтез данных для ряда классов титана и ряда



производителей и составляют набор устойчивых кривых для их целей. Необходимо проверить, пригодны ли такие кривые к определенной конфигурации внутреннего гибкого хомута. Анализ усталости должен учитываться для любой концентрации напряжений, такой как сварные точки, которые могут быть у гибкого хомута внутреннего хомута. Проверочные испытания необходимы для определенного материала, геометрии и сварных соединений, если есть.

## 9.5 Испытания опытного образца

### 9.5.1 Применение испытаний опытного образца

В таблице 6 указаны испытания опытного образца из 9.5, которые необходимо учитывать для изменений определенной конструкции, за пределами ранее одобренных конструкций, для модуля плавучести или балластного модуля в соответствии с рекомендациями в 5.6.3.

Т а б л и ц а 6 – Испытания опытного образца

Изменение конструкции	Учитываемые испытания опытного образца
Осевая сила, прилагаемая к внутреннему хомуту	Испытание осевой силы зажима
Материалы и процесс производства	
а) внутренний хомут	Испытание осевой силы зажима
б) внутренний гибкий хомут	Испытание натяжения внутреннего гибкого хомута
с) элемент плавучести	Полномасштабное гидростатическое испытание
Внутренний и внешний диаметры гибкой трубы	Испытание осевой силы зажима
Внешний диаметр и длина модуля	Полномасштабное гидростатическое испытание
Новая конструкция внутреннего хомута	Испытание осевой силы зажима
Натяжение внутреннего гибкого хомута	Испытание натяжения внутреннего гибкого хомута
Глубина воды (применяется только для модулей плавучести)	Полномасштабное гидростатическое испытание

## 9.5.2 Испытание натяжения внутреннего гибкого хомута

### 9.5.2.1 Описание

Целью испытание натяжения внутреннего гибкого хомута является определение прочности на растяжение внутреннего гибкого хомута. Предполагая, что гибкий хомут сделан из того же материала, который использовался для предыдущих испытаний, требование выполнять такое испытание должно основываться на испытательном натяжении, которое ранее прилагалось, независимо от того, рассчитан ли гибкий хомут на натяжение, превышающее это.

### 9.5.2.2 Порядок

Внутренний гибкий хомут должен натягиваться до появления неисправности. Это обычно достигается при использовании разрывной испытательной машины.

### 9.5.2.3 Критерии приемки

Натяжение, при котором происходит неисправность, должно быть эквивалентно максимальному значению натяжения во время установки или обслуживания, разделенному на коэффициент использования для материала гибкого хомута, или быть выше.

### 9.5.2.4 Испытание осевого зажима

Испытания зажима должны проводиться в соответствии с 13.4.1.

## 9.5.3 Испытание ударной нагрузки от воздействия волн

### 9.5.3.1 Описание

Целью испытание ударной нагрузки от воздействия волн является моделирование максимальной ударной нагрузки от воздействия волн, которой будет подвергаться модуль при прохождении через среднюю линию воды.

### 9.5.3.2 Порядок

Испытание должно моделировать передачу нагрузки от воздействия волн в гнезде в элементе, где расположен внутренний хомут. Испытание может изменяться таким же образом, как и испытание зажима (см. 13.4.1), хотя потребуются ввести в испытание элемента модуля.

#### 9.5.3.3 Критерии приемки

При прилагаемой осевой нагрузки хомут не должен повреждаться и не должен повреждать гнездо в элементе. Таким образом, на хомуте и элементе не должно быть трещин или не устранимой деформации.

#### 9.5.4 Полномасштабное гидростатическое испытание

##### 9.5.4.1 Описание

Целью гидростатического испытания под давлением является проверка того, что материал элемента плавучести может выдерживать гидростатическое давление на рабочей глубине. Таким образом, испытание может использоваться для классификации новых материалов по определенным глубинам воды. Такое испытание также может быть назначено в качестве ПСИ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16.

##### 9.5.4.2 Порядок

Гидростатическое испытание под давлением должно проводиться при гидростатическом давлении равном, как минимум 110% расчетной глубины, в течение периода времени, соответствующего ГОСТ Р ИСО 13628-16. Гидростатическое давление должно оставаться стабилизированным в течение времени, равном указанному периоду испытания.

Примечание - Испытания при гидростатическом давлении равном, как минимум, 110% расчетной глубины являются репрезентативными для текущей промышленной практики.

##### 9.5.4.3 Критерии приемки

На элементе плавучести не должны наблюдаться не устранимая деформация или повреждение. Измеренная плавучесть после испытания должна, при экстраполяции до значения завершения срока службы и умножении на общее количества элементов плавучести, соответствовать требованиям к чистой плавучести.

### 9.6 Изготовление

#### 9.6.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к изготовлению модулей плавучести. В данном подпункте описываются типичные процессы, применяемые при

изготовлении модуля плавучести, и руководства о соблюдении требований ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) для различных этапов производственного процесса.

#### 9.6.2 Процесс изготовления элемента плавучести

Изготовление элемента плавучести обычно включает следующие процессы:

- изготовление микросфер и макросфер;
- изготовление внешней оболочки;
- изготовление композитной синтактической пены;
- обработку внешней оболочки.

Описание некоторых из вышеупомянутых процессов, руководства и рекомендации, относящиеся к таким процессам, даны в следующих подпунктах.

#### 9.6.3 Процесс изготовления -балластного элемента

Изготовление балластного элемента обычно включает следующие процессы:

- изготовление внешней оболочки;
- введение балластного материала во внешнюю оболочку;
- обработку внешней оболочки.

Описание некоторых из вышеупомянутых процессов, руководства и рекомендации, относящиеся к таким процессам, даны в следующих подпунктах.

#### 9.6.4 Изготовление микросфер и макросфер

9.6.4.1 Макросферы могут изготавливаться или целыми, или свариванием литых под давлением полусфер. Допуски на размер полусфер должны быть жесткими, таким образом они будут хорошо подходить друг к другу во время сварки. Микросферы, как правило, производятся по собственной технологии.

9.6.4.2 Микросферы и макросферы могут иметь покрытие, чтобы улучшить их слияние с полимерной матрицей. Влияние покрытия на характеристики впитывания воды микросфер показано на примере на рисунке 9.9. На графике показан набор массы из-за впитывания воды для микросфер без покрытия и с покрытием.

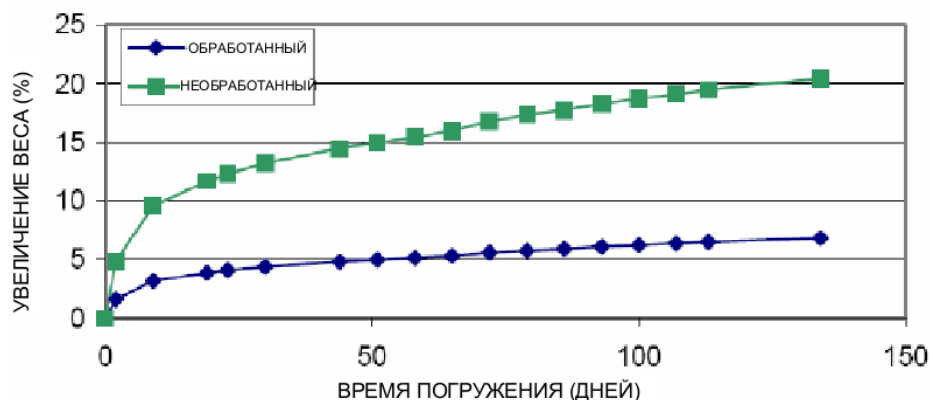


Рисунок 9.9 – Диаграмма влияния покрытия микросфер на характеристики впитывания воды

#### 9.6.5 Изготовление внешней оболочки

Внешняя полимерная оболочка может изготавливаться центробежным формованием. Сюда входит размещение полимера в виде порошка внутри формы, которая нагревается и в то же время вращается по двум осям. Создается однородный слой полимера на внутренней поверхности формы. Как вариант, внешняя оболочка может наноситься на композитную синтактическую пену. Внешняя оболочка должна демонстрировать хорошую связь с композитной синтактической пеной.

#### 9.6.6 Изготовление композитной синтактической пены

Композитная синтактическая пена может отливаться во внешней оболочке. Как вариант, ее можно отливать отдельно и после впрыскивать во внутреннюю полимерную оболочку. Процесс производства пены должен гарантировать равномерное смешение матрицы, микросфер и макросфер. В состав можно ввести добавки, чтобы улучшить связь между микросферами и матрицей, усилить прочность системы, снизить впитывание воды и помочь удалить воздух при смешивании под вакуумом.

#### 9.6.7 Обработка внешней оболочки

Обработка внешней оболочки включает удаление любых заливин, оставшихся после процесса литья внешней оболочки, чтобы получить эстетически привлекательную поверхность. Необходимо проявлять осторожность во время этой операции, чтобы не порезать поверхность и не пробить защитную внешнюю оболочку.

#### 9.6.8 Процесс изготовления внутреннего хомута и гибкого хомута

Внутренний гибкий хомут, изготовленный из титана, собирается с помощью сваривания составных титановых компонентов. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы сварка титана выполнялась в соответствии с требованиями соответствующих стандартов. Крайне важно обеспечить конструктивную прочность сварных соединений, поскольку нарушение сварного узла приведет к откреплению внутреннего хомута, а модуль плавучести начнет скользить вдоль гибкой трубы.

#### 9.6.9 Допуски модуля плавучести

9.6.9.1 В данном подпункте представлены руководства по выбору производственных допусков (минимальные требования к выбранным допускам, см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

9.6.9.2 Выбранный определенный допуск зависит от определенных проектных параметров. Обычное значение допуска составляет  $\pm 4\%$  для отдельного модуля и  $\pm 2\%$  для плавучей секции гибкой трубы. Однако динамическая реакция некоторых систем гибкого райзера может быть очень чувствительна к изменениям плавучести, и в таких случаях могут потребоваться допуски плавучести менее вышеуказанных значений.

### **9.7 Погрузочно-разгрузочные работы и монтаж**

#### 9.7.1 Общие сведения

В 9.7 даны руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и монтажу модулей плавучести и балластных модулей. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и описывают порядок монтажа.

#### 9.7.2 Погрузочно-разгрузочные работы

9.7.2.1 Модуль плавучести нельзя бросать или волочить, так как можно повредить либо внешнюю оболочку, либо внутреннюю композитную синтактическую пену. Модуль нельзя катить по земле, так как можно повредить внутренний хомут.

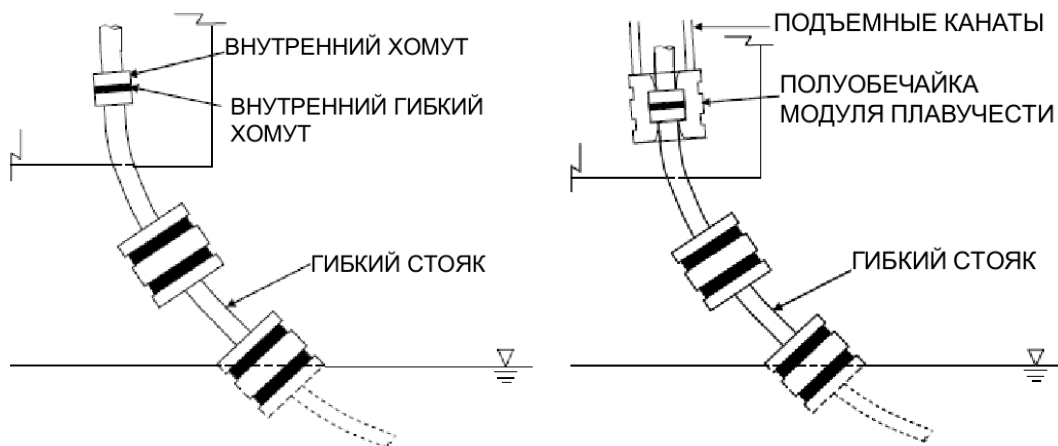
9.7.2.2 Погрузочно-разгрузочные работы с модулями нужно проводить с использованием тканых стропов, обитых концевых крюков или обитых подъемных

вилочных захватов. Необходимо использовать мягкие стропы из нейлона или подобного материала. Модуль плавучести не должен соприкасаться с землей.

### 9.7.3 Монтаж

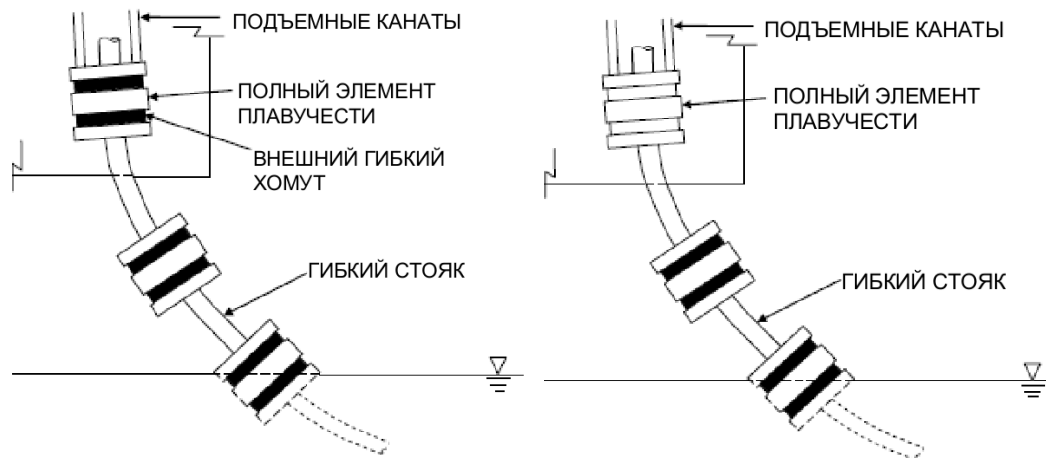
9.7.3.1 Порядок установки модуля плавучести обычно включает следующие этапы:

- а) персонал по установке размещается вокруг гибкой трубы;
- б) гибкий трубопровод вытравливается до достижения первого модуля. Это должно быть указано кольцевой отметкой на гибкой трубе;
- в) сначала внутренний хомут собирается вокруг гибкой трубы, где указывает маркировка. Внутренний хомут фиксируется в положении с помощью закрепления внутреннего хомута вокруг, как показано на рисунке 9.10 а);



а) установка внутреннего хомута и гибкого хомута

б) установка первой полуобечайки



в) установка второй полуобечайки    г) установка внешних гибких хомутов

Рисунок 9.10 – Установка стандартного модуля плавучести

г) полуобечайки элемента модуля после собираются вокруг внутреннего хомута и фиксируются в положении внешним гибким хомутом или болтами, как показано на рисунке 9.10 б) - г);

д) гибкая труба вытравливается до среднего уровня воды до того, как следующая маркировка модуля на гибкой трубе достигнет персонала по установке;

е) следующий модуль собирается в порядке а) - д) выше.

Процесс повторяется пока не будут установлены все модули.

Модули обычно собираются в зоне, где есть достаточное пространство для персонала и подъемного оборудования, а также доступ к воде, например, зона буровой шахты. Часто размеры и масса элементов в воздухе требуют использования определенного подъемного механизма, чтобы соединить элементы модуля вместе вокруг гибкой трубы.

9.7.3.2 Производитель гибкой трубы должен четко маркировать определенное положение модулей на внешней оболочке гибкой трубы.

9.7.3.3 Модули должны быть сконструированы таким образом, чтобы установка на гибкую трубу была быстрой и несложной. Таким образом минимизируется время, необходимое для установки модулей в морских условиях. Порядок сборки модулей должен демонстрировать хорошую воспроизводимость.



9.7.3.4 Перед присоединением внутреннего хомута, поверхность гибкой трубы в месте хомута и внутренняя поверхность хомута должны быть очищены от загрязнений, таких как смазка или масло.

9.7.3.5 Порядок должен соблюдаться, чтобы гарантировать применение правильных сил зажима к каждому внутреннему хомуту и внешним крепежным элементам, таким как болты и гибкие хомуты в соответствующем случае. Необходимо вести записи о применяемых силах зажима для каждого модуля, а записи должны подписываться соответствующим персоналом, ответственным за установку. Это крайне важно, так как неправильно прилагаемые силы могут привести к соскальзыванию модуля с места во время установки или эксплуатации. Один незакрепленный модуль может ухудшить всю секцию модулей, поскольку скорость скольжения и последующее воздействие на прилегающей модуль представляет собой ударное воздействие, на которое внутренний хомут не рассчитан. Это может привести к «эффекту домино», когда вся секция прилегающих модулей может быть вытолкнута со своего места.

9.7.3.6 Модули должны проходить через среднюю линию воды только когда условия такие же или менее жесткие, чем условия, учтенные на этапе проектирования, при оценке воздействия ударных нагрузок от воздействия волн.

9.7.3.7 Необходимо рассмотреть установку модулей плавучести на гибкой трубе, таким образом, чтобы изменение плавучести было минимально возможным между прилегающими элементами плавучести, если система гибкой трубы чрезвычайно чувствительна к распределению плавучести по плавучей секции. Это потребовало бы маркировки на модулях плавучести, чтобы указать правильную последовательность установки на основании их измеренной чистой плавучести.

## **9.8 Управление целостностью**

### **9.8.1 Общие сведения**

В пункте 9.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### **9.8.2 Типы неисправностей и дефекты**

Возможные дефекты модулей плавучести и балластных модулей указаны в

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

таблице 7.

#### 9.8.3 Методы мониторинга

9.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 8.1 - 8.7, описанных в таблице 7.

Т а б л и ц а 7 – Возможные дефекты модуля плавучести и балластного модуля

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
8.1	Неисправность элемента модуля	<p>а) Снижение плавучести/веса, изменение конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы</p> <p>б) Возможный удар поверхностных конструкций элементами плавучести, если они отломались от гибкой трубы</p>	<p>а) Чрезмерная нагрузка:</p> <p>1) гидростатическое давление</p> <p>2) упавшие объекты</p> <p>3) удар подводной конструкцией (напр., швартовым концом, примыкающим гибким стояком и т.д.)</p> <p>б) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</p> <p>в) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры</p> <p>д) Ползучесть в результате гидростатического давления</p> <p>е) Неправильное проектирование (выбор материала)</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потеря плавучести/веса на расчетные критерии гибкой трубы.</p> <p>б) При необходимости, замена модуля либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы. Может быть трудно заменить модуль из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</p>	Выбор материалов
8.2	Неисправность крепежа элементов модуля (включая	<p>а) Возможная потеря элемента</p> <p>б) и последствия</p>	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см.</p> <p>б) таблицу 19</p>	<p>а) Обсуждение с производителем</p> <p>б) целостности</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Увеличение</p>

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	болты и гибкие хомуты)	в соответствии с 8.1 Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления	ГОСТ Р ИСО 13628-16) с) Коррозия d) Заводской брак e) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры (только композитные гибкие хомуты) f) Ползучесть (только композитные гибкие хомуты) g) Неправильное проектирование (напр., слишком маленький размер крепежа, несоответствующая прочность крепежа)	модуля при пропущенных крепежных элементах Может быть возможно установить сменные крепежные элементы, если необходимо гарантировать целостность гибкой трубы	размера крепления Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов в соответствующих случаях
8.3	Снижение плавучести/увеличение веса	Последствия в соответствии с 8.1 а)	а) Гидростатическое давление (только композитная синтактическая пена) b) Ползучесть (только композитная синтактическая пена) с) Заводской брак (напр., габариты элемента модуля	а) Меры по исправлению в соответствии с 8.1 а) и b) b) В случае снижения/увеличения из-за обрастания, некоторое обрастание можно удалить струей воды	а) Выбор материалов b) Изменение конструкции таким образом, чтобы снижение плавучести/увеличение веса были снижены

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>d) отличаются от технических требований, или плотность композитной синтактической пены или балластного материала отличаются от технических требований)</p> <p>e) Впитывание воды</p> <p>f) Обрастание</p> <p>Неправильное проектирование (напр., при прогнозировании потери плавучести, выбор материала с чрезмерным впитыванием воды, недостаточным коэффициентом объемного сжатия или сопротивлением ползучести)</p>	в случае необходимости	
8.4	Неисправность корпуса внутреннего хомута	Скольжение модуля и возможная неисправность внешней оболочки гибкой	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект))</p> <p>b) Усталостная</p>	<p>a) Проверка с помощью общего анализа при использовании рабочих параметров воздействия</p>	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		<p>трубы, а также возможное ударное воздействие других модулей</p>	<p>с) поломка d) Заводской брак (напр., пустоты в литье) e) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры f) Ползучесть Неправильная конструкция</p>	<p>b) неправильной установки модуля на гибкой трубе. расчетные критерии c) Увеличение частоты проверок для контроля скольжения модуля d) Если скользящий модуль контактирует с другим модулем, обсуждение с производителем способности внутреннего хомута сопротивляться прилагаемой силе При необходимости, удаление или изменение расположения модуля либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы. Может быть трудно заменить/изменить</p>	<p>размеров c) внутреннего хомута Замена конфигурации элемента хомута, чтобы изменить распределение нагрузки</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
				расположение модуля из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов	
8.5	Неисправность гибкого хомута внутреннего хомута	Потеря модуля и последствия в соответствии с 8.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 19 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Усталостная поломка</li> <li>c) Коррозия (металлические гибкие хомуты)</li> <li>d) Неисправность сварного соединения (только металлические гибкие хомуты)</li> <li>e) Заводской брак</li> <li>f) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры (только композитные гибкие хомуты)</li> <li>g) Ползучесть (только композитные гибкие хомуты)</li> </ul>	Меры по исправлению в соответствии с 8.4 а) - d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение ширины и толщины гибкого хомута внутреннего хомута</li> <li>c) Замена конфигурации элемента гибкого хомута внутреннего хомута, чтобы изменить распределение нагрузки</li> <li>d) Проектирование сварных соединений (металлические гибкие хомуты внутренних хомутов)</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			h) Неправильное проектирование (напр., неправильная толщина, ширина или выбор материалов гибких хомутов).		
8.6	Неисправность крепежа гибкого хомута внутреннего хомута	a) Последствия в соответствии с 8.4 b) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 19 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Усталостная поломка c) Коррозия d) Неисправность сварного соединения (только металлические гибкие хомуты) e) Заводской брак f) Неправильное проектирование (напр., слишком маленький размер крепежа, несоответствующая прочность крепежа).	Меры по исправлению в соответствии с 8.4 а) - d)	a) Выбор материалов b) Увеличение размера крепления c) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов
8.7	Отсоединение хомута	Последствия в соответствии с 8.4	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 19 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Заводской брак	Меры по исправлению в соответствии с 8.4 а) - d)	a) Переоценка сил, которые может выдержать хомут b) Увеличение сопротивления



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>(напр., внутренний диаметр корпуса внутреннего хомута слишком большой)</p> <p>с) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры</p> <p>d) Ползучесть, приводящая к отсоединению хомута</p> <p>e) Неправильная установка (неправильные приложенные силы зажима к хомуту)</p> <p>Неправильное проектирование (напр., неправильная величина зажима)</p>		<p>зажиму (будут увеличены силы зажима)</p> <p>с) Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации</p>
<p><sup>a</sup> Система плавучести рассчитана на определенное количество потерянных модулей плавучести; если такое количество не превышено, меры по исправлению могут не потребоваться</p>					

9.8.3.2 Во время общего осмотра количество модулей плавучести должно быть рассчитано и должно сравниваться с проектом, чтобы гарантировать наличие всех модулей. Необходимо проверить гибкую трубу, чтобы удостовериться, что все модули находятся в правильном положении на гибкой трубе. Если имеется круговая маркировка на гибкой трубе для размещения модуля, должна иметься возможность визуальной индикации соскальзывания модуля, так как при соскальзывании маркировка становится видна.

9.8.3.3 Если видно, что модуль соскользнул, его определение необходимо записать. Общий осмотр длины гибкой трубы, вдоль которой соскользнул модуль, необходимо выполнить, чтобы определить, есть ли повреждение внешней оболочки гибкой трубы. Если модуль скользит, это может передать его силу плавучести/веса на прилегающие модули и привести к их соскальзыванию также. Такая тенденция зависит от положения модуля и от того, в каком направлении перемещается его сила плавучести/веса. Время от момента соскальзывания можно вычислить на основании уровней обрастания на начальном расположении модуля. Чем больше обрастания на этом месте, тем позже произошло соскальзывание.

9.8.3.4 Вероятность потери или соскальзывания модуля выше во время установки, а не эксплуатации, из-за недостаточного зажима модуля на трубе. Однако потеря модуля при работе также может произойти, и прочность конфигурации системы стояка говорит о значительности такого события.

9.8.3.5 Вся внешняя поверхность модуля должна проверяться на наличие повреждений в соответствии с дефектом 8.1 или накопленной грязи. Внешняя оболочка модуля плавучести должна проверяться в отношении разрывов, так как они будут влиять на защиту и устранять ее от подстилающей композитной синтактической пены.

9.8.3.6 Систему внешнего крепления необходимо проверить, чтобы удостовериться, что крепление есть, оно в хорошем состоянии, и коррозия или натяжения отсутствуют, в соответствии с дефектом 8.2. Если для внешнего крепления используются болты, их необходимо проверить, чтобы оценить, находятся ли они на месте, в хорошем ли состоянии, и не имеют ли коррозии.

9.8.3.7 Общий осмотр должен подтвердить, находится ли обрастание морскими организмами в пределах, предусмотренных расчетом модулей. Обрастание, превышающее расчетные значения, может негативно влиять на реакцию системы гибкой трубы, приводя к нарушению расчетных критериев гибкой трубы.

## **10 Подводные буи**

### **10.1 Область применения**

10.1.1 Пункт 10 относится к раме подводного буя, плавучим емкостям и элементам плавучести системы подводных буюв. Конкретные рекомендации по тросам, основаниям тросов и хомутам подводных буюв см. в 10.9, разделах 12 и 13, соответственно. При необходимости, рекомендации, относящиеся к таким компонентам, даны перекрестной ссылкой на 10.9 - 13. Этот пункт не относится к не плавучим опорным конструкциям райзера.

10.1.2 Рекомендации, применяемые к подводным буюм с плавучими емкостями, отличаются от рекомендаций к элементам плавучести. Подпункт «Общие сведения» относится к обеим системам.

### **10.2 Вопросы проектирования**

#### **10.2.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию подводного буя. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Данный подпункт относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования.
- проектные критерии.
- расчетные нагрузки.

#### **10.2.2 Обзор проектирования**

Процесс проектирования подводного буя представлен на схеме на рисунке 10.1, и обычно включает следующие этапы:

- выбирается система плавучести, т.е. либо плавучая емкость, либо серия элементов плавучести;

- в соответствующих случаях проверить, может ли материал элемента плавучести выдерживать гидростатическое давление при расчетной глубине;

- в соответствующих случаях, напряжения плавучих емкостей при гидростатическом давлении, любом внутреннем давлении и других расчетных нагрузках проверяются в отношении, находятся ли они в допустимых пределах для материала емкости;

- если используются хомуты, определяется конфигурация хомута. Обзор конструкции хомута представлен в пункте 14.2.2;

- профили желобов предназначены для предотвращения излишнего изгиба гибкой трубы, см. 10.2.4;

- определяются необходимое количество тросов и конфигурация тросов, включая тип каната (цепь, проволока или синтетика). Обзор конструкции каната представлен в пункте 11.2.2;

- рама подводного буя предназначена для размещения системы плавучести и желобов. Рама подводного буя также должна иметь конструкционные точки соединения для оборудования соединения канатов;

- основание каната рассчитано выдерживать горизонтальные и вертикальные компоненты натяжения троса и обеспечивать точки соединения для оборудования соединения канатов. Обзор конструкции троса представлен в пункте 12.2.2;

- напряжения конструкционных компонентов рамы подводного буя, сварных соединений и крепежных элементов проверяются в допустимых пределах для соответствующих материалов (см. 10.4.2.1);

- выполняются расчеты системы защиты от коррозии, чтобы определить массы анодов для рамы подводного буя, необходимой для защиты всех компонентов, которым требуется защита;

- выполняется общая исполнительная проверка подводного буя в зависимости от свойств окончательной конструкции подводного буя в сравнении с использованными в последнем общем анализе (см. 10.4.3.4).

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных в пункте 10.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16. Руководства по выбору материалов см в 10.3.

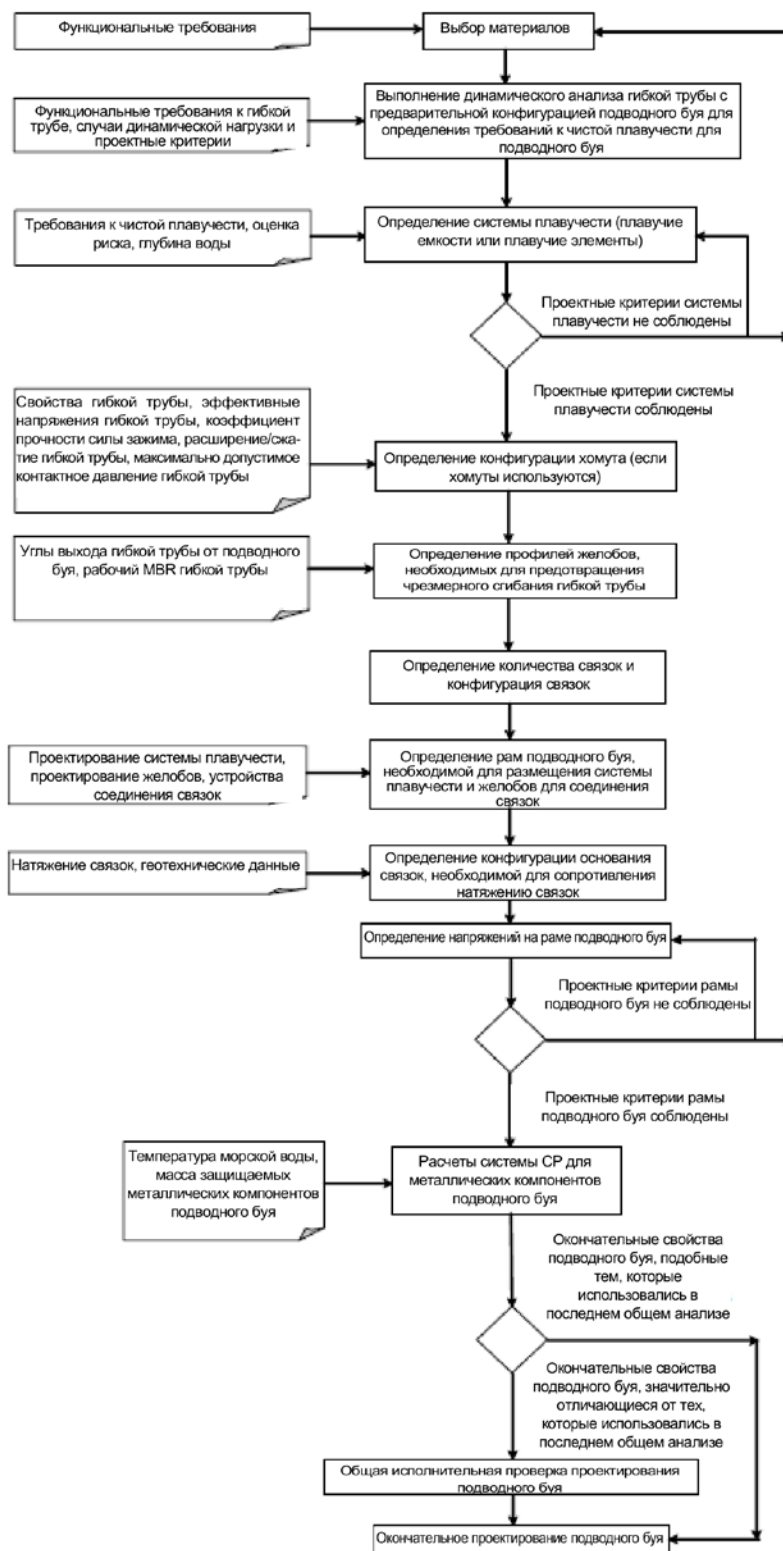


Рисунок 10.1 – Схема конструкции подводного бую

### 10.2.3 Проектирование подводного буя - общие сведения

10.2.3.1 Рекомендации по проектированию хомута подводного буя смотреть в 14.2.4, в соответствующих случаях, рекомендации по проектированию основания тросов - в 12.1, и рекомендации по проектированию канатов - в 11.2.

10.2.3.2 В соответствующих случаях, в раме подводного буя должен быть сделан достаточный допуск для размещения хомута, если размеры хомута не были окончательными.

10.2.3.3 Рама подводного буя должна проектироваться таким образом, чтобы минимизировать объем морской воды, который эффективно захватывается конструкцией при ее движении. Это поможет минимизировать добавленную массу конструкции и, следовательно, инерционные нагрузки.

10.2.3.4 Если расчетные параметры, такие как гидродинамические коэффициенты, нагрузки во время установки или другие расчетные исходные данные или реакции невозможно определить с достаточной точностью, необходимо проводить испытания модели. Определение параметров, полученных от испытаний модели, должно учитывать разницу масштаба между параметрами в испытании модели и применением полномасштабного подводного буя.

10.2.3.5 При выборе подводного буя с плавучими емкостями либо элементами плавучести, необходимо учесть следующее:

- пригодность для расчетной глубины;
- рабочая длина на расчетной глубине;
- воздействия получившихся размеров и динамических нагрузок на трубу;
- прочность;
- предыдущая история при таких же условиях;
- безопасность;
- характеристики управляемости;

### 10.2.4 Проектирование желоба

10.2.4.1 Пункт 10.3.7.3 ГОСТ Р ИСО 13628-16 требует, чтобы при проектировании желоба учитывался диапазон углов вылета гибкой трубы в

горизонтальной и вертикальной плоскости на основании необходимых углов. Такие углы вылета показаны на рисунке 10.2, на котором изображен типичный отдельный желоб с присоединенной гибкой трубой. Обычно угловой запас прочности из общего анализа добавляется к углам вылета.

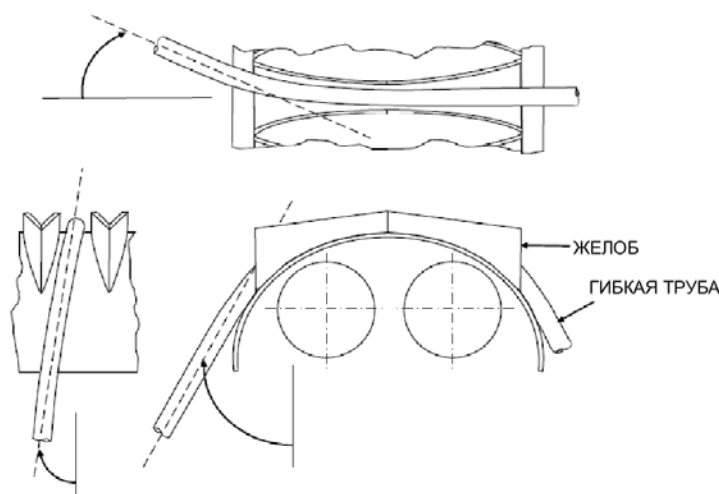


Рисунок 10.2 – Углы вылета буга подводного, вид спереди, с торца (слева) и сверху (наверху)

10.2.4.2 При проектировании желоба необходимо учитывать следующее:

- внешнее изнашивание внешней оболочки гибкой трубы при контакте с желобом;
- достаточный допуск, облегчающий установку гибкой трубы над подводным бумом;
- практические аспекты производства профиля желоба.

10.2.4.3 Расстояние между гибкими трубами необходимо выбрать таким образом, чтобы распределение натяжения на тросах было максимально сбалансированным. Расстояние должно учитывать влияния внутренних сред труб на всех этапах во время установки и обслуживания, а также соответствующие дисбалансы натяжения тросов. Необходимое расстояние влияет на общую ширину подводного буга и наоборот.

10.2.5 Проектирование плавучей емкости

10.2.5.1 Подводный буй может состоять из одной или нескольких плавучих емкостей. Например, на рисунке 10.3 показана типичная сборка конструкции из четырех

емкостей. Дополнительно, плавучая емкость может разделяться на большое количество отсеков, как показано на рисунке 10.4 – в случае разрыва, затопление ограничено одним отсеком. Преимуществом в конструкции из нескольких емкостей или из емкостей с отсеками является то, что она обеспечивает запас у конструкции, в случае разрыва емкости. Однако дополнительный запас может значительно добавить размер и массу получившейся конструкции, и ее необходимо сбалансировать при последствиях разрыва.



Рисунок 10.3 – Емкости буя подводного

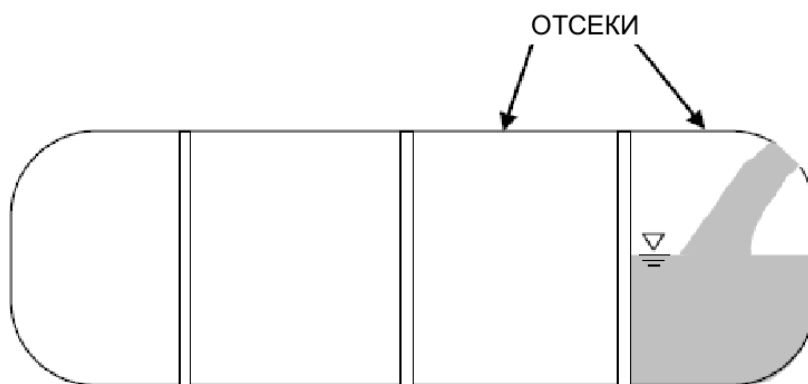


Рисунок 10.4 – Разделение на отсеки емкости буя подводного

10.2.5.2 Необходимо рассмотреть плавучие емкости с внутренним давлением, чтобы была возможность снизить требования к толщине стенок для определенной глубины и, следовательно, увеличить максимально имеющуюся плавучесть. ГОСТ Р ИСО 13628-16 требует, чтобы плавучие емкости, предназначенные для использования в качестве сосудов под давлением, проектировались в соответствии с надлежащими стандартами.



10.2.5.3 Целью выбора подходящих размеров плавучих емкостей, например, диаметра и длины, является достижение максимальной чистой плавучести при минимальных затратах на изготовление.

10.2.5.4 Иногда более экономически выгодно, с точки зрения изготовления, иметь большее количество меньших плавучих емкостей (с соответствующим увеличением запаса), чем меньшее количество больших емкостей, так как могут быть ограничения по размерам плавучей емкости, которую можно изготовить. Необходимо учесть, что при конструкции с двумя емкостями, затопление одной из емкостей приводит к сравнительно большому дисбалансу плавучести. При большем количестве емкостей, объем дисбаланса уменьшается.

10.2.5.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует учесть изменения давления плавучей емкости. Такие изменения могут возникать, например, если плавучая емкость изготавливается и в нее нагнетается давление в холодном климате, и после транспортируется для установки в регион с намного более теплым климатом. Газ внутри плавучей емкости будет расширяться, а давление будет расти при транспортировке плавучей емкости в более жаркий климат.

#### 10.2.6 Коррозионная защита - Общие сведения

Коррозионностойкие покрытия для желобов не должны повреждать внешнюю оболочку гибкой трубы в течение срока службы в результате трения гибкой трубы о поверхность желоба.

#### 10.2.7 Коррозионная защита - плавучие емкости

Следует рассмотреть заполнение металлических плавучих емкостей инертным газом, чтобы снизить подверженность внутренних поверхностей емкости коррозии.

#### 10.2.8 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у подводного буга, см. в таблице 8. В таблице 8 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Таблица 8 – Возможные дефекты буя подводного

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
9.1	Снижение плавучести	а) Потеря плавучести и дисбаланс подводного буя, изменение конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы б) Возможное расшатывание и после неисправность из-за нагрузки резкого перемещения кабель-тросов из-за снижения сил плавучести	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Заводской брак (напр., размеры элемента плавучести слишком малы или плотность композитной синтактической пены слишком высокая) с) Ползучесть д) Неправильная конструкция е) Впитывание воды ф) Обрастание	а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров снижения плавучести на расчетные критерии гибкой трубы. б) В случае снижения из-за обрастания, некоторое обрастание можно удалить струей воды в случае необходимости	а) Выбор материалов б) Изменение конструкции таким образом, чтобы снижение плавучести были минимизированы
9.2	Неисправность конструктивных элементов подводного буя	а) Последствия в соответствии с 9.1 а) б) Отделение, изменение конфигурации и возможная неисправность	а) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Удар от падающих	Нет	а) Выбор материалов б) Усиление конструктивной прочности, напр., увеличение размеров конструктивных

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		гибкой трубы Отделение подводного буя от кабеля тросов, изменение конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы Возможный удар поверхностных конструкций подводным буюм	объектов или с) другой подводной конструкции (напр., швартовный конец) с) Усталостная поломка d) Коррозия e) Неисправность сварного соединения f) Заводской брак g) Водородная хрупкость h) Ползучесть Неправильная конструкция		с) компонентов d) Замена конфигурации рамы подводного буя, чтобы изменить распределение нагрузки e) Проектирование сварных соединений Проектирование системы катодной защиты
9.3	Чрезмерный изгиб гибкой трубы вдоль желоба	Возможная неисправность гибкой трубы	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Заводской брак (напр., неправильное определение размеров для профиля желоба) с) Неправильное проектирование (углы вылета гибкой трубы от подводного буя определены неправильно)	Нет	а) Увеличение радиуса желоба b) Повторная оценка углов вылета гибкой трубы от подводного буя
9.4	Разрушение	Возможная	а) Чрезмерная нагрузка	Нет	а) Увеличение

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	гибкой трубы вдоль желоба	неисправность гибкой трубы	(см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Усталостная поломка c) Заводской брак (профиль желоба отличается от технических требований) d) Неправильное проектирование (эффективное натяжение гибкой трубы занижено) e) Ползучесть		радиуса желоба b) Снижение эффективного натяжения гибкой трубы путем изменения ее конфигурации
9.5	Неисправность плавучей емкости	a) Последствия в соответствии с 9.1 a) и b) b) Полная потеря плавучести для конструкции с одой емкостью в результате утолщения подводного буя и гибких труб на морском дне, и возможная неисправность гибкой трубы	a) Чрезмерная нагрузка: 1) чрезмерное внутреннее давление 2) упавший объект 3) удар от подводной конструкции (напр., швартовный конец)  b) Коррозия c) Неисправность сварного соединения d) Заводской брак e) Водородная хрупкость f) Старение материала	Меры по исправлению в соответствии с 9.1 a), если используется несколько плавучих емкостей	a) Выбор материалов b) Увеличение толщины плавучей емкости c) Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			из-за воздействия морской воды (только композитные плавучие емкости) g) Ползучесть (только композитные плавучие емкости) Неправильное проектирование (напр., если стенки плавучих емкостей слишком тонкие)		
9.6	Неисправность элемента плавучести	a) Последствия в соответствии с 9.1 a) и b) b) Возможный удар поверхностных конструкций секциями элемента плавучести, если они отломались от подводного буя	a) Чрезмерная нагрузка: 1) чрезмерное гидростатическое давление 2) упавший объект 3) удар подводной конструкцией (напр., швартовым концом,  4) примыкающим гибким стояком и т.д.) b) Заводской брак (напр., пустоты в литье) c) Старение материала из-за воздействия морской воды	Меры по исправлению в соответствии с 9.1 a)	Выбор материалов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>d) Ползучесть в результате гидростатического давления</p> <p>e) Неправильное проектирование (выбор материала)</p>		
9.7	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции	<p>a) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания</p> <p>b) Заводской брак (покрытие нанесено неправильно)</p> <p>c) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)</p>	Обращение к отчету по проектированию/производителю по вопросам в отношении области нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты; установка усовершенствованных анодов, если область превышает запроектированную.	<p>a) Выбор системы покрытия краской</p> <p>b) Проектирование системы катодной защиты</p>
9.8	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия рамы подводного буя.	<p>a) Сломан анод(ы)</p> <p>b) Неправильное проектирование системы катодной защиты (т.е. неправильные массы анодов)</p>	<p>a) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту</p> <p>b) Установка</p>	Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
				усовершенствованных анодов на длительный срок	
9.9	Коррозия рамы подводного буя.	Возможная неисправность конструкции.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезвычайно коррозионная среда</li> <li>b) Неправильная защита системы катодной защиты</li> <li>c) Повреждение системы покрытия краской</li> <li>d) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией</li> <li>b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>
9.10	Неисправность троса	См. таблицу 9			
9.11	Неисправность хомута	См. таблицу 13.1			
9.12	Неисправность основания троса	См. таблицу 11.1			

#### 10.2.9 Проектные критерии

10.2.9.1 Общие рекомендации по проектным критериям даны в пункте 5.3.6. Расчетные критерии изменения плавучести, радиуса желоба и гидростатического давления для подводных буйев даны в 10.3.3 и 10.3.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16. В этом подпункте даны руководства и рекомендации, относящиеся к соблюдению таких расчетных критериев.

10.2.9.2 Гибкая труба может свободно изгибаться в нескольких плоскостях, что обеспечивает трехмерный радиус изгиба. Радиус желоба диктует степень изгиба гибкой трубы в плоскости гибкой трубы, тогда как расстояние между стенками желоба диктует степень изгиба в горизонтальной плоскости и оставшейся вертикальной плоскости.

10.2.9.3 В течение срока службы подводный буй может обрастать морскими организмами. Объем и тип обрастания зависит от географического положения и глубины. Воздействие обрастания снижает плавучесть системы. Если в определенных условиях есть обрастание, расчет плавучести должен включать допуски для поправки на вес обрастания. Как вариант, может быть возможно предотвратить обрастание путем использования покрытий, предохраняющих от обрастания.

10.2.9.4 Расчет необходимой чистой плавучести должен включать допуски на смещение веса в воде для компонентов, которые могут быть не плавучими, например:

- рама, включая желоба, сварные узлы и крепежные элементы;
- стенки плавучей емкости в соответствующих случаях;
- хомуты в соответствующих случаях;
- защитные покрытия;
- аноды системы катодной защиты;
- средства соединения;
- канаты;
- подвески;
- треугольные пластины для соединения канатов с подвесками;

#### 10.2.10 Расчетные критерии - элементы плавучести

Снижение плавучести должно быть минимизировано, чтобы соблюсти расчетные



критерии выбора плавучего материала, на основании модуля объемной упругости, сопротивления скольжению и характеристик впитывания воды. Обсуждение свойств таких материалов см. в 9.3.2. Обычное снижение плавучести из-за кратковременных и долговременных механических нагрузок (т.е., не включая обрастание и влияние добычи) в течение срока службы - 5 %.

#### 10.2.11 Расчетные критерии - плавучие емкости

10.2.11.1 В пункте 10.3.4 ГОСТ Р ИСО 13628-16 указаны требования, относящиеся к запасу плавучих емкостей для подводного буя. Запас может быть предусмотрен в конструкции подводного буя, путем разделения плавучей емкости на отсеки, как показано на рисунке 89. В случае разрыва емкости, затопление ограничивается только разорванным отделением. Как вариант, могут использоваться несколько емкостей, чтобы обеспечить запас.

10.2.11.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) позволяет указывать требования по уровню запаса в проекте подводного буя. Необходимо выполнить оценку риска, чтобы принять решение по требованиям проекта подводного буя к способности выдерживать потерю одной плавучей емкости/отделения или одного каната.

Анализ риска должен учитывать следующее, касательно воздействия на вероятность затопления емкости/неисправности каната:

- расстояние подводного буя от будущих подъемных операций или от зон, куда могут падать объекты;
- расстояние подводного буя от других подводных линий, включая стояки и швартовные концы;
- использование особо важных компонентов плавучей емкости в соответствии с проектом, касательно расчетных нагрузок.

Другими словами, плавучая емкость, рассчитанная с высоким коэффициентом надежности, вряд ли будет неисправна в сравнении с другой конструкцией с меньшим коэффициентом надежности; все другие аспекты - аналогичны. Это больше относится к тросу, так как плавучие емкости не могут выдерживать некоторые случаи падения объектов или столкновения, не смотря на какой-либо коэффициент надежности;

- внутренние и внешние допуски плавучей емкости на коррозию;

- расстояние подводного буя от зон рыболовства.

10.2.11.3 Необходимо рассмотреть последствия неисправности подводного буя при определении требований к запасу.

Такой аспект должен учитывать следующее:

- последствия неисправности, перечисленные в таблице 8.
- тип работы райзера, прикрепленного к подводному бую.

Например, подводный буй, поддерживающий райзер закачки воды может приводить к меньшим экономическим и экологическим последствиям при неисправности, чем подводный буй, поддерживающий эксплуатационный райзер.

Потенциальная потеря работоспособности из-за неисправности подводного буя.

#### 10.2.12 Проектирование установки

10.2.12.1 Важно рассмотреть установку подводного буя при проектировании, так как случаи нагрузок при установке могут быть крайне важными для проектирования.

10.2.12.2 Должны быть определены приемлемые погодные условия для установки подводного буя.

10.2.12.3 На всех этапах подъема подводного буя, включая развертывание подводного буя через среднюю линию воды, должен проводиться анализ подъема. Такой анализ должен рассматривать движения судна при погодных условиях, которые позволяют проведение установки. Анализ подъема должен включать определение натяжений подъемных тросов, а также подходящее место для подъемного крюка в отношении подводного буя.

10.2.12.4 Необходимо рассмотреть анализ следующих сценариев во время установки в соответствующих случаях:

Ослабление каких-либо подъемных тросов, в частности, при опускании подводного буя через среднюю линию воды.

Чрезмерный изгиб гибких труб, когда они спущены за борт до установки над подводным буюм. Особо важные зоны в отношении чрезмерного изгиба находятся на такелажных узлах и на всех местах хомутов.

Чрезмерный изгиб гибких труб, когда они устанавливаются над подводным буюм

(если подводный буй устанавливается под водой раньше гибкой трубы).

Контактные силы между подводным бумом и гибкой трубой должны быть оценены, чтобы обеспечить отсутствие повреждений у гибкого трубопровода

10.2.12.5 Установка подводного буя может включать ТНПА, например, для фиксации хомутов на подводном буме. Конструкция подводного буя должна обеспечивать максимально эффективные операции ТНПА.

10.2.12.6 Согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 требуется указать максимальную массу подводного буя в воздухе, которую могло бы поддержать имеющееся подъемное оборудование. Подводные буи для гибкой трубы могут обладать значительной массой, обычно от 50 т до 110 т, поэтому целесообразно проверить, что имеющееся подъемное оборудование может выдержать данную массу.

10.2.12.7 Согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 требуется указать доступное место по ширине, высоте и длине, необходимое для размещения конструкции подводного буя. Подводные буи могут занимать значительное место на судне, обычно от 10 м х 6 м х 4 м до 20 м х 9 м х 5 м, поэтому целесообразно проверить, есть ли у судна установки достаточное место на борту.

### **10.3 Материалы**

#### **10.3.1 Общие сведения**

В данном подпункте указаны материалы, которые обычно используются в подводных бумках, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов. В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны квалификационные требования, относящиеся к дутой пене, синтактической пене или композитной синтактической пене элемента плавучести. Обсуждение значимости свойств некоторых ключевых материалов см. в 9.3.6 - 9.3.10 настоящего стандарта и ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### **10.3.2 Металлические материалы**

Рама подводного буя обычно делается из стали. Металлические материалы для плавучих емкостей, которые рассчитываются, как емкости под давлением, изготавливаются из материала, указанного в соответствующих правилах сосудов под давлением.

### 10.3.3 Композитные материалы плавучих емкостей

Композитные плавучие емкости обычно делаются из стеклопластика, что обеспечивает высокое отношение предела прочности к весу и сопротивление коррозии.

### 10.3.4 Материалы элемента плавучести

Элементы плавучести могут изготавливаться из композитной синтактической пены (см. 9.3.2), синтактической пены или дутой пены. Синтактические пены обычно обладают высокой гидростатической прочностью, по сравнению с композитными синтактическими пенами, но более высокой плотностью. Дутая пена обладает меньшей плотностью, чем синтактическая пена или композитная синтактическая пена, но у нее нет высокой гидростатической прочности. Выбор подходящего материала для элемента плавучести должен учитывать расчетную глубину установки и материал с наименьшей плотностью, способный выносить гидростатическое давление на такой глубине.

## 10.4 Вопросы анализа

### 10.4.1 Общие сведения

Целью данного подпункта является предоставление рекомендаций по способам анализа подводного буйа.

### 10.4.2 Местный анализ

10.4.2.1 Рама подводного буйа обычно делается сваркой трубных элементов и пластин. Способы структурного анализа для таких рам хорошо установлены и даны в нескольких промышленных стандартах, перечисленных в таблице 3 ГОСТ Р ИСО 13628-16. После проектирования рамы подводного буйа, производитель может решить провести окончательную проверку ее конструкционной целостности с помощью трехмерного исследования методом конечных элементов.

10.4.2.2 Нагрузки райзера и троса, воздействующие на подводный буй, определенные в общем анализе, будут отражать некоторые гидродинамические нагрузки, воздействующие на подводный буй. Однако может потребоваться прямая оценка воздействия гидродинамических нагрузок на подводный буй, которые нельзя учесть только для нагрузок троса и райзера. Данные о течениях и волнах могут

использоваться для определения скорости воды, и, следовательно, нагрузок трения и инерции, воздействующих на подводный буй.

#### 10.4.3 Общий анализ

10.4.3.1 Общий анализ системы гибкой трубы должен использоваться для определения диапазона углов вылета гибкой трубы от подводного буя, и диапазона эффективных натяжений гибкой трубы, которые воздействуют на все стороны подводного буя. Далее такие данные предоставляются для местного расчета подводного буя, таким образом, что его конструкцию можно проектировать при предотвращении чрезмерного изгиба гибкой трубы и сопротивления эффективным натяжениям гибкой трубы.

10.4.3.2 Рама подводного буя может моделироваться в общем анализе методом конечных элементов для системы гибкой трубы путем организации балочных элементов со сравнительно высокой прочностью. Пример такой общей модели показан на рисунке 10.5. Общепринятое значение жесткости в десять раз превышает жесткость гибкой трубы. Характеристики трения, применяемые для рамы подводного буя, должны учитывать трение морской воды на арочной конструкции.

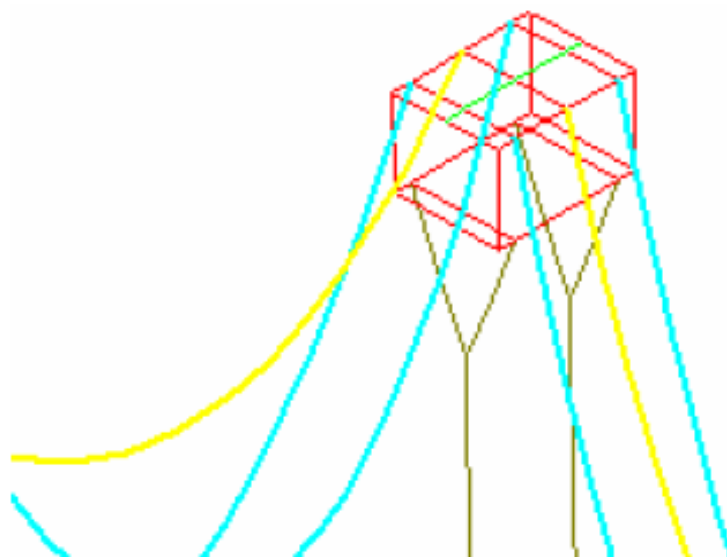


Рисунок 10.5 – Модель буя подводного общая

Подводный буй, представленный девятью коэффициентами трения:

- коэффициент трения, умноженный на площадь фронтальной проекции для

каждого направления, чтобы представить гидродинамические нагрузки, вызванные относительной скоростью морской воды/подводного буя;

- коэффициент инерции, умноженный на референтный объем для каждого направления, чтобы представить гидродинамические нагрузки, вызванные ускорением подводного буя;

- добавленный массовый коэффициент, умноженный на референтный объем, чтобы представить гидродинамические нагрузки, вызванные ускорением частиц морской воды.

Такие характеристики трения зависят от определенной конфигурации арки.

10.4.3.3 Нет необходимости моделировать часть гибкой трубы, лежащей на подводном буге. Между тем, дискретности нижней и верхней провесы гибкой трубы могли бы начинаться на точках, где гибкая труба выходит из желоба, как показано на рисунке 90. Конечно, в данном случае, вес длины стояка, лежащего на подводном буге, необходимо учитывать в массовых характеристиках элементов подводного буя между верхним и нижним провесом. В таком случае соединения между верхней и нижней провесом и подводным бугем обычно моделируются, как шарнирные соединения. Таким образом гарантируется, что элементы гибкой трубы движутся с аркой, и все еще могут вращаться в трехмерном пространстве относительно ее.

10.4.3.4 Общие анализы системы гибкой трубы с подводным бугем могут выполняться до завершения проектирования подводного буя. Если окончательная конфигурация подводного буя отличается от использованной в общих анализах системы гибкой трубы, необходимо рассмотреть выполнение таких анализов еще раз при использовании окончательной конфигурации. Такое решение должно основываться на том, какая конфигурация изменилась. Если имеются значительные изменения массы и гидродинамических свойств подводного буя, которые, в свою очередь, изменят общую реакцию системы, необходимо выполнить повторный анализ.

## **10.5 Испытания опытного образца**

### 10.5.1 Общие сведения

Единственными испытаниями опытного образца, которые применяются к подводным бугам, являются испытания, относящиеся к элементам плавучести, тросам и

хомутам.

#### 10.5.2 Применение испытаний опытного образца

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при требовании полномасштабного гидростатического испытания элементов плавучести под давлением, в соответствии с 5.6.3:

- глубина воды;
- материалы;
- процесс(ы) изготовления;
- внешний диаметр и длина элемента.

#### 10.5.3 Полномасштабное гидростатическое испытание элемента плавучести

Рекомендации по полномасштабному гидростатическому испытанию элементов плавучести см. в 9.5.5 при необходимости.

#### 10.5.4 Испытания троса

Рекомендации по испытанию опытного образца троса см. в 11.5.

#### 10.5.5 Испытания хомута

Рекомендации по испытанию опытного образца хомута см. в 14.6 при необходимости.

### **10.6 Производство**

#### 10.6.1 Общие сведения

В пункте 10.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16 даны требования к производству подводных буюв. В пункте 10.6 данного стандарта описываются обычные процессы, выполняемые при производстве подводного буюв.

#### 10.6.2 Процесс производства

Основные процессы при производстве подводного буюв:

- сварка конструкционных элементов рамы друг с другом и сварка желоба с рамой;
- сварка точек соединения троса на раме подводного буюв;
- нанесение коррозионностойких покрытий на раму подводного буюв;
- присоединение анодов системы катодной защиты к раме подводного буюв;

- изготовление плавучей емкости или элемента плавучести.

Описание процесса производства элемента плавучести см. в 9.6.2.

#### 10.6.3 Производство плавучей емкости

Стальные плавучие емкости обычно изготавливаются из жестких баллонов со сварными сферическими или вогнутыми купольными концами.

### **10.7 Погрузочно-разгрузочные работы и установка**

#### 10.7.1 Общие сведения

В пункте 10.7 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и установке подводных буюв. Подпункты по установке рассматривают общие аспекты и описывают примеры порядка установки подводных буюв и их плавучих емкостей.

#### 10.7.2 Погрузочно-разгрузочные работы

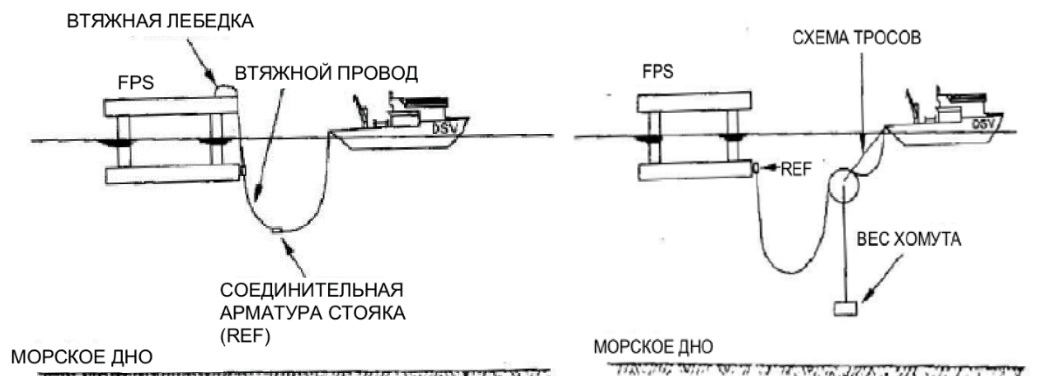
Основные проблемные вопросы при погрузочно-разгрузочных работах с подводным буюем - это подъемные работы, необходимые для его развертывания под водой; они, таким образом, требуют тщательного предварительного анализа (см. 10.2.12.3). Также, плавучие емкости подводного буюа могут быть герметизированы, пока они находятся на судне. Конкретные усилия должны быть сосредоточены на снижении риска воздействия на арку по отношению к верхним конструкциям во время погрузочно-разгрузочных работ, чтобы предотвратить не только возможные разрывы под давлением в соответствующих случаях, но также повреждение чувствительных компонентов, таких как планки с обухом и скобы. Чем глубже местоположение подводного буюа, тем больше может быть внутреннее давление плавучих емкостей (чтобы нейтрализовать нагрузки под давлением), и, следовательно, тем более жесткая сила возможного разрыва емкости под давлением. В перспективе нужно учитывать, что давление плавучей емкости низкое в сравнении со многими другими потенциальными системами под давлением, обычно находящимися на поверхности.

#### 10.7.3 Установка - подводные буюи

10.7.3.1 Существует несколько способов установки подводного буюа, некоторые из них показаны на рисунке 10.6 и 10.7. На этих рисунках показана установка гибкой трубы

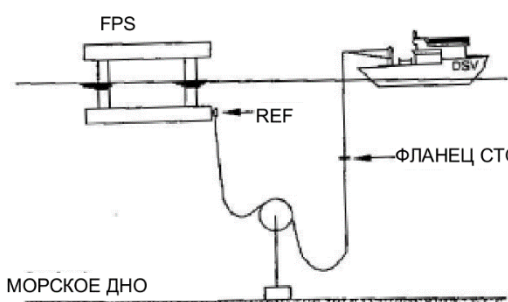


с первым концом, соединенным с судном. Данный метод не обязательно подходит для всех применений и может быть изменен. Судно представлено схематически.

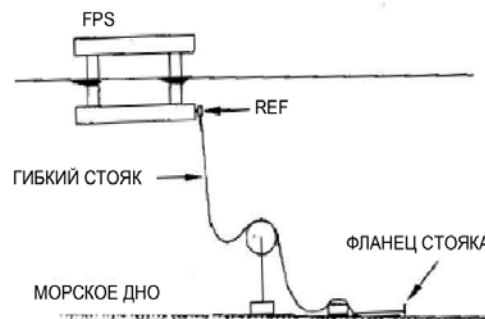


а) втягивание арматуры соединительной райзера

б) погружение систем забортного подводного буя



в) погружение фланца нижнего конца райзера



г) установленная система

**Примечания**

1 Данная процедура основывается на подсоединении гибкой трубы сначала и последующей установке от гибкой трубы. Данную процедуру можно проводить в обратном порядке.

2 Горизонтальная установка может быть заменена на вертикальную.

Рисунок 10.6 – Порядок установки плавного S-стояка стандартный

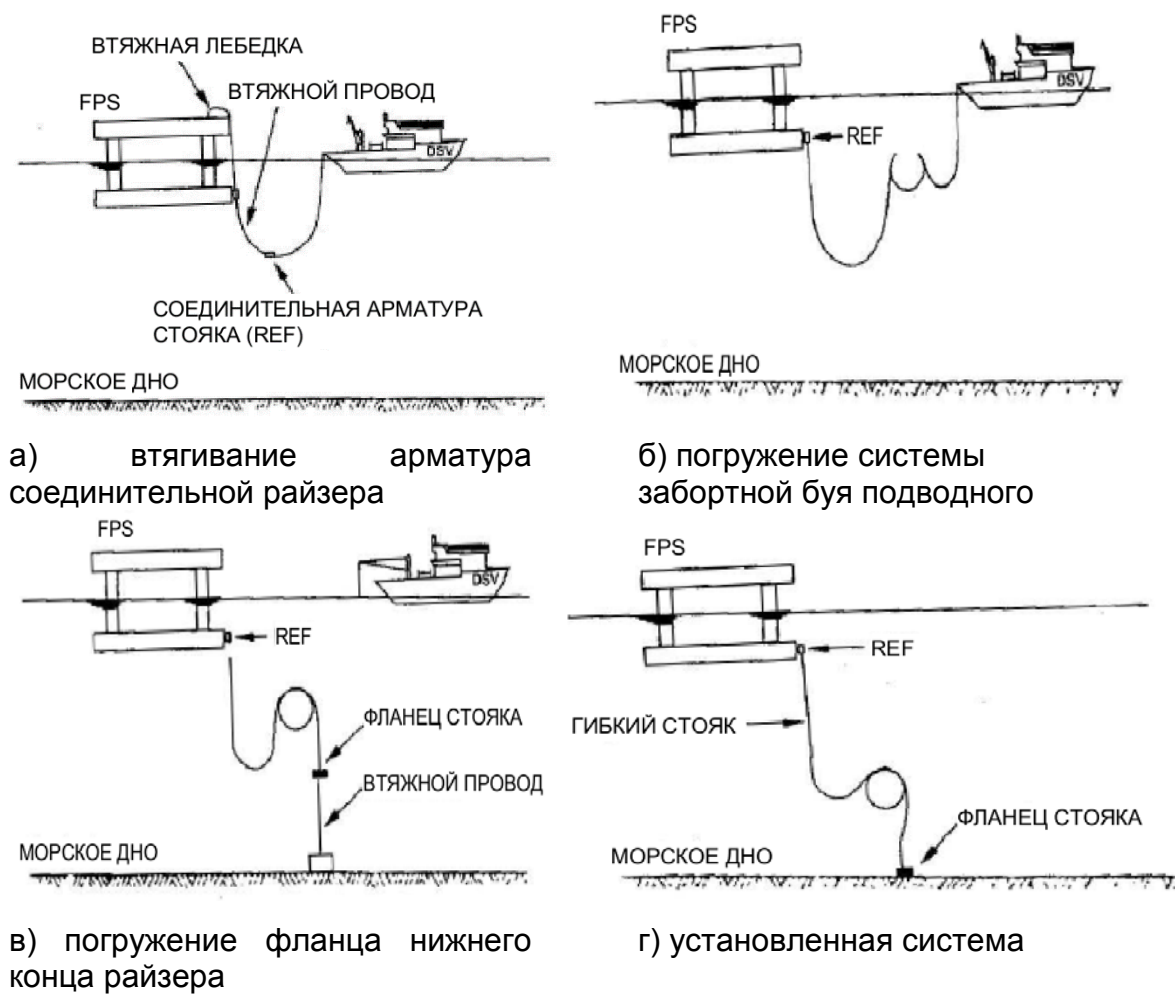


Рисунок 10.7 – Порядок установки крутого S-стояка стандартный

Как правило, установка включает некоторые или все следующие этапы.

Гибкие трубы могут присоединяться к подводному бую до опускания установки через среднюю линию воды. В таком случае, все хомуты устанавливаются на этом этапе.

Подводный буй присоединяется к подъемному оборудованию и опускается через среднюю линию воды.

Вся балластная вода в плавучих емкостях вытесняется газом, а в емкости может нагнетаться давление.

Гибкие трубы, если не готовы к подсоединению, устанавливаются друг за другом над подводным бую. Хомуты могут предварительно присоединяться к гибким трубам и

на подводном бую могут проводиться соединения после установки над ним гибкой трубы.

10.7.3.2 Может потребоваться подсоединить хомуты к подводному бую для того, чтобы опустить его через среднюю линию воды, так как его конструкция обладает положительной плавучестью сама по себе. Как вариант, плавучие емкости могут заполняться балластной водой, чтобы их можно было погрузить.

10.7.3.3 Подводные буй должны опускаться через среднюю линию воды только когда условия такие же или менее жесткие, чем условия, рассмотренные на этапе проектирования, при оценке воздействия гидродинамических нагрузок на подводный буй.

10.7.3.4 Если гибкие трубы лежат на морском дне с учетом будущего извлечения после размещения на морском бую, длина гибкой трубы на морском дне должна быть достаточной, чтобы обеспечить стабильность.

#### 10.7.4 Установка - Плавучие емкости

10.7.4.1 При удалении морской воды из затопленных плавучих емкостей, необходимо гарантировать, что удалено максимально возможное количество морской воды, чтобы снизить вероятность внутренней коррозии емкости в течение срока службы, и чтобы гарантировать, что внутри осталось минимально возможное количество воды для отклонения плавучести. Должна быть возможность проверки уровней воды в плавучих емкостях.

10.7.4.2 При нагнетании давления в плавучих емкостях, необходимо нагнетать давление в емкостях до давления, указанного в проекте. Оборудование, используемое для измерения такого давления должно калиброваться заранее.

10.7.4.3 Впускные клапаны плавучих емкостей должны тщательно проверяться на наличие повреждений до развертывания через среднюю линию воды, поскольку такие клапаны являются особо важным компонентом системы подводных буюев.

10.7.4.4 Предусмотренное подъемное оборудование должно соответствовать более строгим требованиям по подъему, если плавучие емкости будут наполнены балластной водой.

## **10.8 Управление целостностью**

### 10.8.1 Общие сведения

В пункте 10.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью для подводных буюв, включая возможные дефекты.

### 10.8.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 8 указаны возможные дефекты для подводных буюв.

### 10.8.3 Методы мониторинга - Общие сведения

10.8.3.1 Методы мониторинга для тросов, оснований тросов и хомутов см. в 11.8.3, 12.5.3 и 14.8.3, соответственно.

10.8.3.2 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 9.2, 9.5 и 9.6 - 9.12, описанных в таблице 7.

10.8.3.3 Снижение плавучести, в соответствии с дефектом 9.1, может быть очевидно во время общего осмотра, если только снижение плавучести не сконцентрировано на определенной стороне подводного буюа и не очевидно по наклону подводного буюа к горизонтали. Можно косвенно определить, если установлены системы наблюдения за натяжением тросов, что постоянное снижение среднего напряжения может указывать на снижение плавучести.

10.8.3.4 Трудно определить чрезмерный изгиб или разрушение гибкой трубы, в соответствии с дефектами 9.3 и 9.4, если нет соответствующего повреждения внешней оболочки.

10.8.3.5 Дефект 9.5 будет очевидным при проверках управления целостностью, но его также можно обнаружить при использовании устройств для обнаружения утечек в плавучих емкостях. Из-за обычных уровней обрастания, стационарные устройства для обнаружения утечек могут быть нецелесообразны.

10.8.3.6 Во время общего осмотра рама подводного буюа и плавучие емкости должны проверяться на наличие повреждений. Особо критичные повреждения - это повреждения, которые увеличивают склонность плавучей емкости к неисправности.

Подводный буй необходимо проверять в отношении любых наклонов по горизонтали, которые могут указывать на потерю или снижение плавучести. Отклонение можно обнаружить при использовании инклинометров в плавучих емкостях. Из-за обычных уровней обрастания, стационарные устройства для определения уровней могут быть нецелесообразны.

10.8.3.7 Общий осмотр должен подтвердить, находится ли обрастание морскими организмами в пределах, предусмотренных расчетом подводного буя. Обрастание, превышающее расчетные значения, может негативно влиять на реакцию системы гибкой трубы и приводить к нарушению расчетных критериев гибкой трубы.

#### 10.8.4 Методы мониторинга - Плавучие емкости

10.8.4.1 Необходимо рассмотреть включение инклинометра в подводный буй, поскольку он может обнаружить дисбаланс подводного буя, вызванный затоплением плавучей емкости или неисправностью троса согласно дефектам 9.5 и 9.7, соответственно.

10.8.4.2 Необходимо проверить наполнительные клапаны, чтобы гарантировать их работоспособное состояние.

#### 10.8.5 Методы мониторинга - Элементы плавучести

Во время общего осмотра внешне видимые поверхности элементов плавучести должны проверяться на наличие повреждений. Внешняя оболочка должна проверяться в отношении разрывов, так как они будут влиять на защиту и устранять ее от подстилающего материала элемента плавучести. Может быть невозможно проверить все элементы плавучести или всю поверхность таких внешне видимых элементов из-за их размещения в раме подводного буя.

### **10.9 Вывод из эксплуатации - Подводные буи плавучих емкостей**

При выводе системы гибких трубопроводов с подводным буюм из эксплуатации, необходимо предпринять предупредительные меры из-за увеличения перепада давления между внутренней и внешней частью подводного буя при его подъеме на поверхность. Любые дефекты плавучей емкости подводного буя, такие как коррозия, могли бы привести к неисправности плавучей емкости во время подъема, так как растет

перепад давления. Такие слабые точки могут проявлять себя на мелких глубинах, где перепад давления меньше. Одна из возможных смягчающих мер – просверлить отверстия на нижней части плавучей емкости с помощью ТНПА, чтобы давление смогло выровняться до поднятия плавучей емкости на поверхность.

## **11 Канаты**

### **11.1 Область применения**

Следующие подпункты относятся к канатам подводных буюв, используемых в устройствах гибких райзеров с канатами. Рекомендации по хомутам подводных буюв и канатов см. в пункте 10 и 13 соответственно. Следующие подпункты также могут применяться для гибридных систем канатов, т.е., где имеется сочетание цепей и синтетических канатов.

### **11.2 Вопросы проектирования**

#### **11.2.1 Общая информация**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию канатов. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию канатов в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### **11.2.2 Обзор проектирования**

Проектирование каната для данного состояния гибкой трубы обычно проводится на следующих этапах:

- выбирается тип используемого каната, т.е., цепь, проволочный канат или синтетический канат. Руководство по выбору материалов представлено в 11.3;

- определяются все требования к защите, такие как покрытия или защитные кожухи, в зависимости от конкретного случая (см. 11.2.5).

- выполняется ряд динамических анализов гибкой трубы при использовании предварительных свойств канатов.

Общий анализ определяет длину канатов, необходимую для получения нужной конфигурации гибкой трубы, обеспечивает максимальные нагрузки натяжения, которые

должен переносить канат. Он также обеспечивает циклические нагрузки канатов.

Канат выбирается таким образом, чтобы он мог выдерживать максимальные натяжения и циклические натяжения в таких случаях нагрузки, с учетом необходимых коэффициентов прочности.

Канат выбирается из набора стандартных размеров. Способность каната выдерживать статическую нагрузку указана значениями минимальной разрушающей нагрузки/минимальному сопротивлению разрыва с учетом необходимого коэффициента прочности.

Определяются подходящие концевые заделки и средства соединения для каната, чтобы соединить его с основанием каната и подводным бумом или хомутом каната.

Концевые заделки должны быть способны выдерживать нагрузки, вызванные натяжением каната, с учетом концентраций напряжения. Способность средства соединения выдерживать статическую нагрузку указана в значениях допустимой рабочей нагрузки.

При необходимости расчеты усталостного повреждения выполняются в соответствии с 11.3.8. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 11.2.3 Проектирование канатов - общие сведения

11.2.3.1 В данном подпункте даны рекомендации по проектированию, общие для тросов подводного буга и тросов гибкой трубы. Рекомендации конкретно по тросам гибкой трубы см. в 11.2.7.

11.2.3.2 Рекомендации по проектированию и анализу канатов, цепей и проволочных канатов представлены в ГОСТ 3241, ГОСТ 30188, а рекомендации по проектированию и анализу синтетических канатов указаны в ГОСТ ISO 9554, ГОСТ 30055.

11.2.3.3 Затруднительно определить необходимую длину каната по общим параметрам системы. Например, высоту каната подводного буга можно определить по высоте основания каната, размерам рамы подводного буга и необходимой высоте гибкой трубы над морским дном.

11.2.3.4 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы анализ напряжения средств соединения учитывал углы канатов в трех измерениях. При конфигурации райзера с канатами, канат, скорее всего, будет двигаться в сторону продольного направления гибкого райзера при наличии райзера с наполнением с более низкой плотностью, например, газом. В системе подводного буя канат скорее всего будет двигаться в сторону в случае потери прилегающего каната.

#### 11.2.4 Средства соединения

11.2.4.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы соединение каната с подводным бумом или хомутом каната с основанием каната организовывалось таким образом, чтобы на канат воздействовали только нагрузки натяжения. При использовании хомута троса, это достигается путем применения шарнирного кольца в хомуте троса, которое обеспечивает соединение троса гибкой трубой со сборкой хомута без натяжения. Пример такой сборки показан на рисунке 11.1, где шарнирное кольцо размещено слева от болтовой сборки. На другом конце троса крюк и гнездовое устройство могут обеспечить свободное вращение на соединении основания каната.



Рисунок 11.1 – Кольцо шарнирное и сборка болтовая хомута каната

11.2.4.2 При использовании подводного буя свободное вращение обычно достигается путем обеспечения свободного вращения планок с обушком на раме



подводного буя и тем, что они обеспечивают свободное вращение, предотвращающего любые торсионные нагрузки или нагрузки момента изгиба для каната.

#### 11.2.5 Защитные кожухи

Синтетические тросы и тросы из проволоки оснащаются защитными кожухами, чтобы защитить от коррозии (только тросы из проволоки), истирания, попадания посторонних частиц и укуса рыб (последние два относятся только к синтетическим тросам). Такая защита должна рассматриваться на основании сопротивления оголенного троса таким воздействиям. Подходящие допуски на коррозию могут устранить необходимость в защитном покрытии для цепных тросов. Необходимо отметить, что покрытия на цепях могут повреждаться во время транспортировки и установки, и, таким образом, невозможно полагаться на только лишь коррозионную защиту.

#### 11.2.6 Коррозионная защита

11.2.6.1 Если не были предусмотрены дополнительные свойства металлических тросов в расчетах системы катодной защиты подводных буюв или хомутов канатов, для троса должна предусматриваться специальная система коррозионной защиты. Цепь обычно не подключается к системе катодной защиты. Вместо этого выбирается подходящий допуск на коррозию. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы допуск на коррозию соответствовал стандартам.

11.2.6.2 Проволочный канат может быть защищен от коррозии при применении внешнего кожуха, обычно из полиэтилена или полиуретана. Все проволоки должны быть оцинкованы.

#### 11.2.7 Проектирование каната гибкой трубы

Необходимо рассмотреть использование вспомогательного соединения каната, которое отдельно присоединяется к основанию каната, чтобы обеспечить запасной путь нагружения в конфигурации стояка с канатами.

#### 11.2.8 Типы отказов

Возможные дефекты, которые могут произойти у троса подводного буя и гибкой трубы, см. в таблице 9. В таблице 9 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Таблица 9 – Возможные дефекты тросов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
10.1	Неисправность троса	<p>а) Чрезмерное натяжение и возможная неисправность оставшихся тросов</p> <p>б) Дисбаланс подводного буя, приводящий к изменению конфигурации и возможной неисправности гибкой трубы</p> <p>в) Отделение подводного буя от основания троса и возможное ударное воздействие на поверхностные конструкции от подводного буя</p> <p>г) Потеря конфигурации и возможная</p>	<p>а) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>в) Усталостная поломка</p> <p>г) Коррозия (только металлические тросы)</p> <p>д) Неисправность сварного соединения (только металлические тросы)</p> <p>е) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</p> <p>ж) Старение материала из-за воздействия морской воды (только синтетические тросы)</p> <p>з) Водородная хрупкость</p> <p>и) Ползучесть (только синтетические тросы)</p> <p>к) Неправильное проектирование (напр.,</p>	<p>а) Если при начальном проектировании потеря троса не оценивалась, исследовать с помощью общего анализа при использовании рабочих параметров воздействие потери кабель-троса на расчетные критерии гибкой трубы и целостность подводного буя.</p> <p>б) Замена кабель-троса на месте</p>	<p>а) Выбор материала (класс цепи)</p> <p>б) Изменение типа троса (т.е., цепи, проволочного троса или синтетического материала)</p> <p>в) Увеличение значения MBL/MBS троса</p> <p>г) Выбор защитного кожуха</p> <p>д) Проектирование системы катодной защиты (только для тросов из цепи или проволочного каната)</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		неисправность гибкой трубы	значение MBL/MBS слишком низкое)		
10.2	Неисправность средств соединения	Последствия в соответствии с 10.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 25 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</li> <li>c) Усталостная поломка</li> <li>d) Коррозия</li> <li>e) Изнашивание</li> <li>f) Неисправность сварного соединения</li> <li>g) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</li> <li>h) Водородная хрупкость</li> <li>i) Неправильное проектирование (напр., значение SWL слишком низкое)</li> <li>j) Неправильная установка (напр., шплинты скобы неправильно закреплены болтами)</li> <li>k) Повреждение во время установки</li> </ul>	Меры по исправлению в соответствии с 10.1 a) и b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Изменение типа средств соединения</li> <li>c) Увеличение значения SWL средств соединения</li> <li>d) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
10.3	Обтрепанный трос (только синтетические тросы)	<p>а) Чрезмерное напряжение кабель-троса и возможная неисправность троса</p> <p>б) Возможные последствия в соответствии с 10.1</p>	<p>а) Ударное воздействие или истирание при контакте с другими подводными конструкциями</p> <p>б) Упавшие объекты</p> <p>с) Объедание рыбами</p> <p>Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки или установки</p>	<p>а) Запрос доступа у производителя кабель-троса к обтрепанному кабель-тросу и воздействие</p> <p>б) на целостность подводного буя или гибкой трубы</p> <p>с) Если при начальном проектировании потеря кабель-троса не оценивалась, исследовать с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери кабель-троса на расчетные критерии гибкой трубы и целостность подводного буя.</p> <p>д) Замена кабель-троса на месте</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Заключение троса в защитный кожух</p>
10.4	Показания катодной защиты	Возможная коррозия средств	а) Недостаточное соединение с системой катодной защиты	Обсуждение с производителем того, сколько текущая	Проектирование системы катодной защиты

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	отличаются от технических требований для средств соединения	соединения	b) Сломан анод(ы) c) Неправильное проектирование системы катодной защиты (т.е. неправильные массы анодов)	система катодной защиты может обеспечивать защиту. Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	
10.5	Коррозия средств соединения	Возможная неисправность конструкции	a) Чрезвычайно коррозионная среда b) Неправильная защита системы катодной защиты c) Повреждение системы покрытия краской d) Недостаточное соединение с системой катодной защиты e) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты)	a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	a) Выбор материалов b) Проектирование системы катодной защиты

### **11.3 Материалы**

#### 11.3.1 Общие сведения

В пункте 11.3 указаны материалы, которые обычно используются в канатах, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.

#### 11.3.2 Материалы канатов

11.3.2.1 Цепи и проволочные канаты сделаны из стали. Минимальные требования к свойствам швартовой цепи даны в ГОСТ 5875, а минимальные требования к свойствам проволочного каната даны в ГОСТ 3241. Как правило, цепь более прочная, чем проволочный канат в отношении сопротивления истиранию, хотя обладает намного большим весом для данной допускаемой нагрузки от напряжения.

11.3.2.2 Синтетические канаты могут изготавливаться из таких материалов, как полиэстер, полиэтилен и арамидный волоконный композит. Преимущество синтетических канатов заключается в меньшем весе, прилагаемом к подводному бую или к системе гибкой трубы с канатами, чем у цепи или проволочного каната.

### **11.4 Вопросы анализа**

#### 11.4.1 Общие сведения

Целью пункта 11.4 является предоставление рекомендаций по местному анализу средств соединения и ползучести каната и по способам анализа усталости.

#### 11.4.2 Местный анализ

Местный анализ средств соединения каната может выполняться путем исследования методом конечных элементов, чтобы определить концентрации напряжения. Сетка должна быть достаточно плотной, чтобы захватить геометрию средств соединений. Такой анализ включает контактные поверхности и, следовательно, требуется функциональность контактных элементов, чтобы точно моделировать поведение. Местный анализ должен оценить напряжения, прилагаемые направлениями наиболее критичных нагрузок из-за ориентации каната в трех измерениях.

#### 11.4.3 Анализ ползучести

Канат, прикрепленный к раме подводного бую, подвергается постоянным нагрузкам в условиях окружающей среды. Таким же образом, канат в конфигурации

гибкого райзера с канатами также подвергается постоянным нагрузкам. Поскольку синтетические тросы изготавливаются из полимерных материалов, в процессе проектирования необходимо учесть ползучесть. Во-первых, ползучесть необходимо проверить, чтобы удостовериться, что длина каната из-за ползучести не будет негативно влиять на конфигурацию гибкого трубопровода. Во-вторых, ползучесть необходимо проверить, чтобы удостовериться, что на канат не воздействует неисправность в результате ползучести на некоторой точки в течение срока службы.

#### 11.4.4 Анализ усталости

Канат подвергается колебаниям натяжений в течение срока службы. Испытания усталости тросов должны проводиться, если недостаточно данных об усталости (см. 11.5).

### 11.5 Испытания опытного образца

#### 11.5.1 Применение испытаний опытного образца

Единственными испытаниями опытного образца на пригодность тросов являются испытания усталости, поскольку способность выдерживать нагрузку при статических нагрузках проверяется приемо-сдаточными нагрузочными испытаниями после производства в соответствии с пунктом 11.7 ГОСТ Р ИСО 13628-16. Для тросов из цепей или проволочных тросов кривые усталости, как правило, хорошо известны, и, если можно определить усталостный ресурс по таким имеющимся кривым, испытания усталости не нужны. Однако анализ усталости синтетического каната менее определен. Рекомендуется, чтобы, по крайней мере, было проведено одно квалификационное испытание усталости до применения кривых усталости, чтобы показать, что канат обладает, как минимум, эквивалентным сопротивлением к усталости, представленному на выбранной расчетной кривой.

#### 11.5.2 Динамическое испытание синтетического каната

Целью динамического испытания синтетического троса является проверка срока службы при циклических нагрузках в определенных условиях.



## **11.6 Изготовление**

### 11.6.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к изготовлению канатов. В данном подпункте описываются процессы, выполняемые при изготовлении канатов.

### 11.6.2 Цепи

Цепь производится путем гибки прямых цилиндрических заготовок в изогнутые звенья под воздействием теплоты. После соединения с прилегающим звеном, концы каждого звена свариваются вместе, обычно стыковой сваркой. Звенья осматриваются, и проводится проверка каждого сварного соединения звена магнитопорошковым методом.

### 11.6.3 Проволочный канат

Производство проволочного каната начинается с заготовки для проволоки. Заготовка для проволоки очищается, оцинковывается и вытягивается до окончательного размера. Цинкование обеспечивает коррозионную защиту. После проволоки свиваются спирально вокруг сердцевины в один или несколько слоев с помощью усовершенствованной обработки с компьютерным управлением. При необходимости, полимерный кожух обычно прессуется вокруг проволочного троса.

### 11.6.4 Синтетические канаты

В производство синтетического троса обычно входят следующие процессы:

- параллельные волокна скручиваются в начальную нить;
- начальная нить скручивается в окончательную нить;
- после окончательная нить свивается в пряди;
- пряди после формируются в тросы.

При необходимости, вокруг проволочного каната устанавливается полимерный кожух.

## **11.7 Погрузочно-разгрузочные работы и монтаж**

### 11.7.1 Общие сведения

В пункте 11.7 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и монтажу канатов. Подпункты по установке относятся к общим

вопросам и описывают порядок монтажа.

#### 11.7.2 Погрузочно-разгрузочные работы

11.7.2.1 В РД 31.10.10 и НД №2 2-090601-006 есть некоторые соответствующие руководства по погрузочно-разгрузочным работам для синтетических канатов.

11.7.2.2 Необходимо проявлять осторожность во время всех погрузочно-разгрузочных и установочных работ, чтобы предотвратить повреждение защитных кожухов тросов, если они есть.

#### 11.7.3 Монтаж - общие сведения

Установка каната включает соединение концов каната через средства соединения с основанием троса и с подводным бумом или хомутом троса. Некоторые или все такие соединения можно выполнить на поверхности. Соединения, которые выполняются под водой, могут выполняться с участием или без участия водолазов. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), от производителя требуется предоставить порядок выполнения надежного соединения средств соединения троса с основанием троса и средств соединения троса с подводным бумом или хомутом троса.

#### 11.7.4 Монтаж канатов гибкого трубопровода

Присоединение троса к хомуту троса может выполняться на поверхности, поскольку хомут троса собирается вокруг гибкой трубы на поверхности. Соединение троса с основанием троса обычно выполняется под водой. В таком случае, конец троса у основания должен быть легко доступен, чтобы облегчить его извлечением водолазами или ТНПА.

### **11.8 Управление целостностью**

#### 11.8.1 Общие сведения

В пункте 11.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

#### 11.8.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 9 указаны возможные дефекты для тросов.

#### 11.8.3 Методы мониторинга - Общие сведения

11.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 10.1 - 10.5, описанных в таблице 9. Может потребоваться удаление обрастания, чтобы надлежащим образом проверить трос. Обрастание можно удалить с помощью струи воды.

11.8.3.2 Оборудование по наблюдению за натяжением может быть полезным для определения рабочего напряжения и сравнения с уровнями натяжения, учтенными на этапе проектирования. Оно также может использоваться для определения возможных потерь плавучести подводного буя, так как постоянное снижение уровней натяжения может указывать на снижение плавучести.

11.8.3.3 Должна быть предусмотрена четко видимая маркировка на кожухе или видимой части троса, чтобы можно было проконтролировать перекручивание троса. Ее можно использовать для определения того, подвергается ли трос торсионным нагрузкам.

11.8.3.4 Тросы из цепей и проволочных тросов должны проверяться на наличие коррозии основной части троса и концов и средств соединения.

11.8.3.5 Концы и средства соединения тросов, прилегающие к ним, должны проверяться на наличие изнашивания в результате контакта между ними.

11.8.3.6 В дополнение к 5.9.9.5, необходимо выполнить исследование катодной защиты на анодах средств соединения.

11.8.3.7 Синтетические канаты необходимо проверить на наличие обтрепанных зон по их длине, что может указывать на повреждение в результате истирания.

11.8.3.8 Защитные внешние кожухи тросов должны проверяться, чтобы гарантировать их хорошее состояние и обеспечивать необходимую защиту для канатов.

## **12 Основания райзеров и канатов**

### **12.1 Область применения**

12.1.1 Следующие подпункты относятся к основанию райзеров и основаниям тросов, последние могут использоваться в подводных буях или подсоединяться через

трос к хомуту каната. Рекомендации по подводным буйам, тросам и хомутам тросов указаны в пункте 10, подпункте 10.9 и пункте 15 соответственно. При необходимости, рекомендации, относящиеся к тросам, даны перекрестной ссылкой на пункт 10.9.

12.1.2 Рекомендации по основаниям райзеров в следующих подпунктах основываются, в основном, на передаче нагрузок от гибкой трубы. Таким же образом, рекомендации по основаниям тросов основываются на передаче нагрузки от тросов. Проект фундамента и проект арматуры основания тросов не учитываются, но даны ссылки на соответствующие стандарты в этих областях. Функциональные требования, представлены в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) и включают требования указать данные, которые использовались для проекта фундамента.

## **12.2 Вопросы проектирования**

### 12.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию основания райзера и троса. Целью пункта 12.2 является разработка и предоставление руководств по проектированию основания райзера и троса в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

### 12.2.2 Обзор проектирования

Проектирование основания для данного состояния гибкой трубы обычно проводится на следующих этапах:

- материалы основания выбираются на основании функциональных требований, указанных в пунктах 12.2 и 12.3 или ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

- выполняется ряд динамических анализов системы гибкой трубы. Таким образом, определяется подходящий угол соединения гибкой трубы с основанием райзера. Также предусматриваются нагрузки сжатия на точке соединения гибкой трубы, на которые рассчитывается основание райзера. Для оснований тросов общий анализ определит натяжения тросов и диапазон углов тросов в трех измерениях. Руководства по общему анализу основания райзера и основания троса см. в 12.3.3 и 12.3.4, соответственно;

- выполняется проектирование конструкции (см. 12.3.2);

- выполняется проектирование фундамента (см. 12.2.3.1);
- основание проектируется с учетом способа установки (см. 12.2.8);
- при необходимости, выполняются расчеты усталостного повреждения в соответствии с 12.5.6.1 и 12.5.6.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 для оснований райзера и троса, соответственно.

### 12.2.3 Проектирование фундамента

12.2.3.1 Проектирование фундамента включает обеспечение достаточной стабильности основания для поддержания его целевого положения при определенных условиях морского дна. Проект фундамента должен учитывать состояние почвы, очистку и силы, передаваемые основанию гибкой трубой или тросами. Соответствующие стандарты проектирования фундамента перечислены в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

12.2.3.2 Данные о течениях и волнах могут использоваться для определения скорости воды, и, следовательно, нагрузок трения, воздействующих на основание. Необходимо отметить, что гидродинамическое воздействие волн больше относится к мелким глубинам. Гидродинамические данные могут использоваться для расчета очистки.

### 12.2.4 Проектирование основания райзера

К рассматриваемому проектированию могут относиться следующие факторы:

- гравитационная или свайная конструкция;
- установка изоляции или разветвления труб;
- порядок аварийного отключения;
- конфигурация райзера.

Все такие данные необходимо полностью оценить до выполнения проектирования.

### 12.2.5 Проектирование основания тросов

12.2.5.1 Рекомендации по проектированию средств соединения тросов указаны в 11.2.4.

12.2.5.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы соединение гибкой трубы с основанием троса рассматривалось в общем анализе. Вероятность таких помех зависит от сравнительного позиционирования гибкой трубы в отношении основания тросов, высоты основания и границ движения гибкой трубы рядом с основанием тросов. Сценарий возможных помех схематически показан на рисунке 12.1.

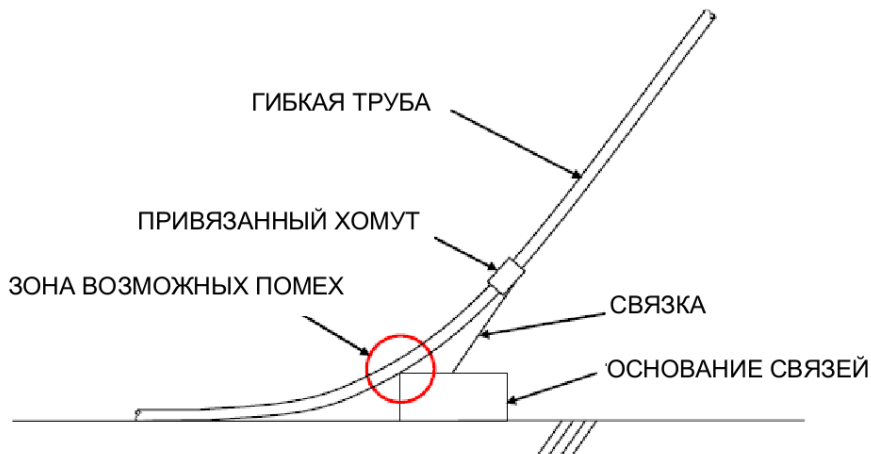


Рисунок 12.1 – Помехи гибкого трубопровода и основания тросов

#### 12.2.6 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у основания стояка и основания тросов, указаны в таблице 10. В таблице 10 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Таблица 10 – Возможные дефекты основания стояка и троса

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
11.1	Неисправность конструктивных компонентов	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Основание стояка</li> <li>b) Возможное отделение гибкой трубы или трубопровода от основания</li> <li>c) Утечка скважинной продукции</li> <li>d) Основание троса</li> <li>e) Возможное отделение троса, и последствия в соответствии с 10.1 в таблице 9</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Удар от подводной конструкции (напр., швартовый конец)</li> <li>c) Усталостная поломка</li> <li>d) Коррозия</li> <li>e) Неисправность сварного соединения</li> <li>f) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</li> <li>g) Водородная хрупкость</li> <li>h) Неправильная конструкция</li> </ul>	Обсуждение с производителем целостности основания при определенной неисправности	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материала (класс металла)</li> <li>b) Усиление конструкционной прочности, напр., увеличение размеров конструктивных компонентов</li> <li>c) Замена конфигурации рамы основания стояка, чтобы изменить распределение нагрузки</li> <li>d) Проектирование сварных соединений</li> <li>e) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
11.2	Неисправность крепежных элементов	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Отсоединение конструктивных элементов</li> <li>b) Основание тросов</li> <li>c) Возможное отделение средств соединения и троса, и последствия в соответствии с 10.1 в таблице 9</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Усталостная поломка</li> <li>c) Коррозия</li> <li>d) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</li> <li>e) Водородная хрупкость</li> <li>f) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем целостности основания при пропущенных крепежных элементах</li> <li>b) Может быть возможно установить сменные крепежные элементы, если необходимо гарантировать целостность гибкой трубы или основания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение размера крепления</li> <li>c) Изменение предварительной нагрузки крепежа</li> <li>d) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>
11.3	Подъем основания	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Основание стояка</li> <li>b) Чрезмерная нагрузка и возможная неисправность гибкой трубы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Неправильное проектирование</li> </ul>	Улучшение балласта в основании, если возможно	Проектирование фундамента



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		<p>с) Чрезмерная нагрузка на прилагаемую гибкую трубу</p> <p>d) Основание кабель-троса</p> <p>Возможное изменение положения основания и получившееся изменение конфигурации гибкой трубы, и возможная неисправность гибкой трубы</p>	<p>с) недостаточная стабильность основания)</p> <p>Неправильная установка (напр., неправильно установлен балласт)</p>		
11.4	Скольжение или скатывание основания	Последствия в соответствии с 11.3	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Неправильное проектирование (недостаточная стабильность основания)</p>	Улучшение балласта в основании, если возможно	Проектирование фундамента

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<ul style="list-style-type: none"> <li>c) Очистка морского дна</li> <li>d) Неправильная установка (напр., неправильно установлен балласт)</li> </ul>		
11.5	Повреждение соединения гибкой трубы или трубопровода (только основания стояков)	Возможное повреждение соединительной арматуры или утечка на соединении	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Удар от подводной конструкции (напр., швартовный конец)</li> <li>c) Усталостная поломка</li> <li>d) Коррозия</li> <li>e) Неисправность сварного соединения</li> <li>f) Заводской брак</li> <li>g) Водородная хрупкость</li> <li>h) Неправильная конструкция</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Консультация с производителем гибкой трубы/трубопроводов по целостности трубы при повреждении</li> <li>b) Если повреждение ограничено внешней оболочкой, промывка кольцевого пространства ингибитором коррозии</li> <li>c) Установка ремонтного хомута в поврежденной зоне</li> </ul>	Повторная оценка сил сжатия на соединении гибкой трубы

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
11.6	Неправильное положение	Последствия в соответствии с 11.3	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Неправильное проектирование (напр., недостаточная стабильность</p> <p>c) основания) Неправильная установка (напр., основание стояка установлено с неправильными координатами)</p>	Убрать основание и установить заново	Проектирование фундамента
11.7	Неисправность средств соединения (только основания кабель-тросов)	Отделение кабель-троса, и последствия в соответствии с 10.1 в таблице 9	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 30 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Усталостная поломка</p> <p>c) Коррозия</p> <p>d) Изнашивание</p> <p>e) Неисправность</p>	a) Если при начальном проектировании потеря кабель-троса не оценивалась, исследовать с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери кабель-троса на расчетные	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Изменение типа средств соединения</p> <p>c) Увеличение значения SWL средств соединения</p> <p>d) Проектирование системы катодной</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>сварного соединения</p> <p>f) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</p> <p>g) Водородная хрупкость</p> <p>h) Неправильное проектирование (напр., значение SWL слишком низкое)</p> <p>i) Неправильная установка (шпильки скобы неправильно закреплены)</p> <p>Повреждение во время установки</p>	<p>критерии гибкой трубы.</p> <p>b) Замена средств соединения на месте</p>	защиты
11.8	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции.	а) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения,	Обращение к отчету по проектированию/производителя по вопросам области нарушения покраски, на которую рассчитана	<p>a) Выбор системы покрытия краской</p> <p>b) Проектирование системы катодной</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>транспортировки, установки или обслуживания</p> <p>б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно)</p> <p>с) Неправильное проектирование (выбор системы покрытия)</p>	<p>система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона превышает расчетную</p>	защиты
11.9	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия конструкции	<p>а) Отключены кабели системы катодной защиты</p> <p>б) Сломан анод</p> <p>с) Неправильное проектирование системы катодной защиты (неправильные массы анодов)</p>	<p>а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту</p> <p>б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок</p>	Проектирование системы катодной защиты
11.10	Коррозия основания	Возможная неисправность конструкции	<p>а) Чрезвычайно коррозионная среда</p> <p>б) Неправильная защита системы катодной защиты</p> <p>с) Повреждение</p>	<p>а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией</p> <p>б) Установка усовершенствованных</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Проектирование системы катодной защиты</p>

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			системы покрытия краской d) Отключение кабелей системы катодной защиты e) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты)	анодов на длительный срок	

## 12.2.7 Нагрузки

12.2.7.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы анализ усталости учитывал вибрации, вызванные потоком газа в соответствующих случаях. Высокочастотные вибрации наблюдались в системах экспорта газа и нагнетания газа. Поток сухого газа, проходящий через гибкий райзер, и особенно через гофрированный профиль каркаса райзера, производит завихрения, которые после акустически взаимодействуют с соответствующим подводным и верхним трубопроводом. Это может привести к значительным уровням колебаний давления в трубе и прилегающей обвязке. В худшем случае, это может привести к усталостным неисправностям.

12.2.7.2 Рекомендуется, чтобы все райзеры, которые используются для экспорта/импорта сухого газа или для впрыска при скорости потока свыше 1,5 м/с экранировались на раннем этапе, чтобы снизить влияние вибрации газового потока. В новых проектах, в которых планируется экспорт газа и/или впрыскивание через гибкие райзеры, проблема возможной вибрации решается внедрением требований к гибкой трубе, и/или соединительные трубные системы не должны быть чувствительны к возможным вибрациям. Акустические гасители или глушители также учитываются для уменьшения проблемы.

## 12.2.8 Проектирование установки

12.2.8.1 Ограничения могут быть связаны с судами установки и оборудованием в отношении массы оснований, которое они могут установить, и размеров основания. Основания райзеров могут обладать значительной массой, обычно от 50 т до 200 т приблизительно, поэтому целесообразно проверить, может ли имеющееся подъемное оборудование выдержать такую массу. Основания тросов также могут весить 200 т. Таким образом, это необходимо учесть при проектировании основания. Если невозможно соблюсти грузоподъемность морского оборудования, единственным решением является производство основания тросов в меньших секциях, которые опускаются на дно по отдельности.

12.2.8.2 Натяжение подъемных тросов и движения основания, после развертывания основания через среднюю линию воды, можно определить с помощью

программного обеспечения трехмерного общего анализа методом конечных элементов для оценки того, находятся ли эти силы в допустимых пределах.

12.2.8.3 При производстве установки согласно ГОСТ Р ИСО 13628-16 требуется указать ограничения по доступному месту в отношении ширины, высоты и длины, для размещения конструкции основания. Основания райзера, например, могут занимать значительное место на судне (до 20 м x 20 м x 10 м), таким образом, целесообразно проверить, имеет ли судно достаточное количество грузового пространства на борту.

### **12.3 Вопросы анализа**

#### 12.3.1 Общие сведения

Целью 12.3 является предоставление рекомендаций по способам анализа основания райзера и канатов.

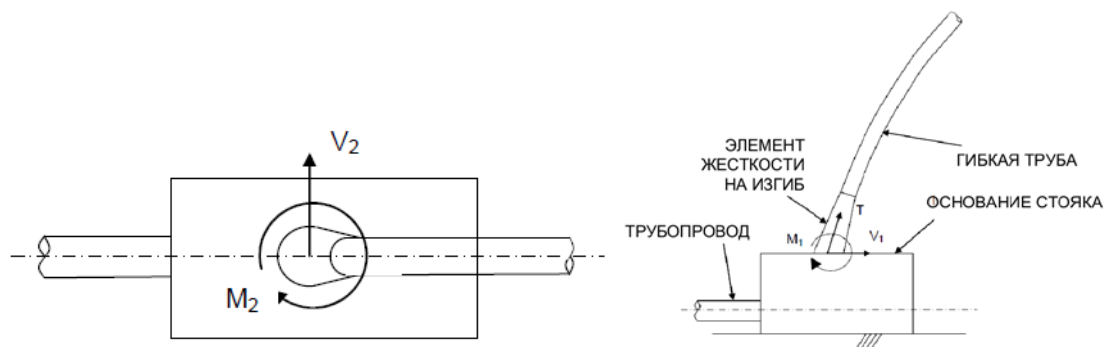
#### 12.3.2 Местный анализ

Основание обычно изготавливается из стандартных конструктивных элементов и пластин, которые свариваются и крепятся друг к другу. Способы структурного анализа для таких конструкций хорошо известны и даны в нескольких промышленных стандартах, например, перечисленных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). При анализе сложной геометрии и определении зон концентрации напряжений необходимо использовать исследование методом конечных элементов.

#### 12.3.3 Общий анализ - основание райзера

12.3.3.1 Общий анализ системы гибкой трубы должен применяться для определения нагрузок реакции, воздействующих на основании райзера при подсоединении гибкой трубы. Такие нагрузки включают эффективное напряжение, силу сдвига и моменты изгиба, воздействующие на основание стояка, и они показаны схематически на рисунке 12.2. На рисунке показаны моменты изгиба  $M1$  и  $M2$  и силы сдвига  $Fs1$  и  $Fs2$ , воздействующие в горизонтальной и вертикальной плоскости гибкой трубы. На рисунке также показано эффективное натяжение гибкой трубы  $T$ . Необходимо отметить, что снование райзера представлено схематично.





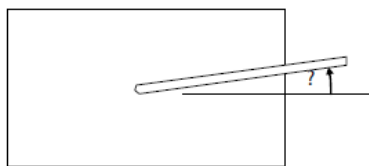
а) горизонтальная плоскость      б) плоскость гибкого трубопровода

Рисунок 12.2 – Нагрузки основания райзера

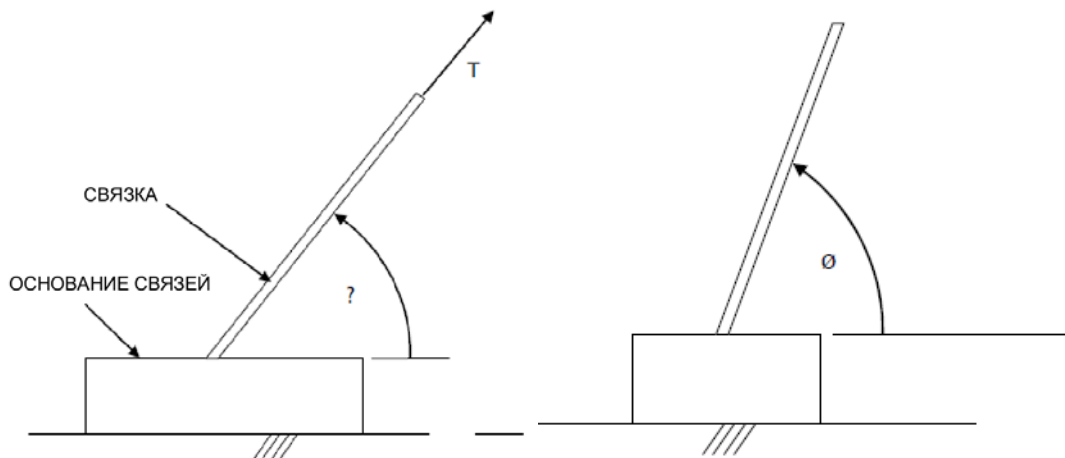
12.3.3.2 Должен учитываться общий анализ для рассмотрения установки основания райзера. Гибкая труба может соединяться с основанием райзера на борту судна, и после сборки опускается на дно. В таком случае, основание райзера должно моделироваться точно с учетом его массы и гидродинамических свойств. Должна учитываться масса воды, захваченной в основание райзера. Основание райзера может моделироваться, как жесткая конструкция, т.е. назначением данных по жесткости элементам, которые используются для его моделирования. В анализе укладывания необходимо контролировать такие параметры, как эффективное натяжение и радиус изгиба гибкой трубы, натяжение подъемных тросов и пределы движения сборки. Также важно определить, имеется ли возможное соединение с судном в начале процедуры укладывания.

#### 12.3.4 Общий анализ - основание каната

Общий анализ гибкой трубы должен использоваться для определения напряжений и углов троса, которые возникают у троса в трех измерениях. Углы троса показаны на рисунке 96, где изображен угол троса  $\theta$  в плоскости гибкой трубы, угол троса  $\varphi$  в поперечной плоскости гибкой трубы и угол троса в горизонтальной плоскости  $\varphi$ . Также на рисунке 97 показано натяжение троса  $T$ .



а) горизонтальная плоскость



б) плоскость гибкого трубопровода

в) поперечная плоскость гибкого трубопровода

Рисунок 12.3 – Нагрузки основания троса

## 12.4 Погрузочно-разгрузочные работы и монтаж

### 12.4.1 Общие сведения

В 12.4 даны руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и монтажу оснований райзеров и канатов. Подпункты по установке относятся к общим вопросам.

### 12.4.2 Монтаж

12.4.2.1 Рекомендации по установке оснований относятся к следующим аспектам:

- транспортировка;
- проверка;
- подъем и спуск;
- посадка на грунт.

Такие рекомендации более применимы для оснований, которые устанавливаются

отдельно; основания стояков можно устанавливать вместе с гибкой трубой.

12.4.2.2 Необходимо рассмотреть испытания операций ТНПА на берегу с емкостью, если операции ТНПА достаточно сложны или если операторы ТНПА не имеют опыта в подобных операциях. Опытная установка должна выполняться для каждого типа основания райзера или для каждой процедуры установки.

12.4.2.3 Основание райзера должно проектироваться или устанавливаться таким образом, чтоб он не перемещался сверху вниз при спуске на морское дно. Это может произойти, если центр тяжести основания райзера слишком высокий и имеются чрезмерные торсионные нагрузки гибкой трубы из-за эффективных натяжений при установке. Общий анализ должен использоваться для определения стабильности основания райзера во время такого спуска на дно.

12.4.2.4 Основание должно устанавливаться, только когда условия такие же или менее жесткие, чем условия, рассмотренные на этапе проектирования при оценке воздействия нагрузок волн и течений, так как основание опускается через среднюю линию воды.

12.4.2.5 Если основание райзера соединено с гибкой трубой, соединение необходимо испытать, чтобы проверить, что оно герметично.

## **12.5 Управление целостностью**

### 12.5.1 Общие сведения

В 12.5 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 12.5.2 Типы неисправностей и дефекты

Возможные дефекты основание райзера и каната указаны в таблице 10.

### 12.5.3 Методы мониторинга - Общие сведения

12.5.3.1 Основание необходимо проверить, чтобы удостовериться, что оно не смещается от своего указанного положения на морском дне. Это может быть трудно определить, если нет ориентиров или очевидных признаков движения на морском дне.

12.5.3.2 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 11.1 - 11.10, описанных в таблице 7.

12.5.3.3 Соединения и средства соединения тросов, прилегающие к ним, должны проверяться на наличие изнашивания в результате контакта между ними.

12.5.3.4 В дополнение к 5.9.9.5, необходимо выполнить исследование катодной защиты на анодах средств соединения.

## **13 Общие рекомендации по фиксирующим устройствам**

### **13.1 Общие сведения**

В пункте 13 рассмотрены минимальные рекомендации по фиксирующим устройствам. Дальнейшие рекомендации, относящиеся к определенным фиксирующим устройствам, даны в других подпунктах настоящего документа.

### **13.2 Вопросы проектирования**

#### **13.2.1 Расчетные критерии хомута**

ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы осевой компонент зажима был, по крайней мере, в 1,5 раза выше максимальной осевой силы, воздействующей на гибкую трубу, чтобы предотвратить осевое соскальзывание. Могут возникнуть условия, когда целесообразно учитывать более высокий коэффициент прочности, например, если есть неопределенность во входных данных общего проектирования или реакциях, воздействующих непосредственно на проектирование хомута. Однако, если такой более высокий коэффициент прочности увеличивает давление зажима до уровня, свыше максимально допустимого контактного давления гибкой трубы, увеличение длины хомута может поддерживать необходимое значение зажима и снизить прилагаемое контактное давление.

#### **13.2.2 Проектирование хомута**

13.2.2.1 Необходимо отметить, что руководства по проектированию хомутов - общие по своему характеру, специальные руководства.

13.2.2.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы системы крепления обладали некоторыми средствами, предотвращающими отсоединение системы в течение срока службы. Обычно этого можно достичь при использовании контргаек на резьбе болтов, что предотвращает вращение резьбы после затягивания.

13.2.2.3 Хомут, после затяжки или на любом другом этапе, не должен царапать или продавливать поверхность внешней оболочки гибкой трубы, не захватывать части внешней оболочки между сегментами хомута, так как гибкая труба будет повреждена.

13.2.2.4 Одним из способов физического восприятия воздействия допусков гибкой трубы является наличие нескольких сегментов хомута, как показано на рисунке 98. Диаметр отверстия можно регулировать, изменяя расстояние между прилегающими сегментами. Отверстие хомута может быть гладким или профилированным; последнее увеличивает силу трения. Выбор зависит от того, что является приемлемым для материала внешней оболочки гибкой трубы. Другой способ восприятия воздействия допусков гибкой трубы - это использование податливой полимерной внутренней футеровки между гибкой трубой и корпусом хомута, как показано на рисунке 13.1.

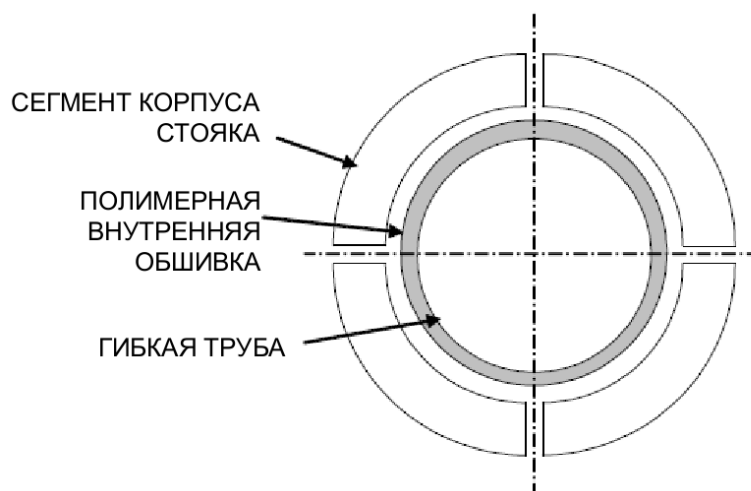


Рисунок 13.1 – Разбивка хомута стандартная и полимерная внутренняя футеровка

Податливость внутренней футеровки позволяет воспринимать большой диапазон размеров гибкой трубы без нарушения требований к контактному давлению. Внутренняя футеровка также помогает снизить предварительные натяжения болтов, чтобы приспособиться под сжатия гибкой трубы. Когда гибкая труба сгибается, она снижает контактное давление. Чтобы удалить такие изменения и предотвратить соскальзывание хомута из-за недостаточного контактного давления, нужно увеличить

предварительное натяжение болтов. Наличие внутренней полимерной футеровки уменьшает такое снижение контактного давления из-за увеличенной податливости в сравнении со сталью, и, таким образом, снижает предварительные натяжения болтов, необходимые для удаления таких изменений контактного давления. Футеровка также помогает воспринять большие изменения определенных номинальных внешних диаметров гибкой трубы. Футеровка может быть также профилированной, например, при использовании ребер, что снижает жесткость футеровки по сравнению с эквивалентной твердой футеровкой.

13.2.2.5 Если внешний диаметр в заводском исполнении отсутствует, необходимо использовать подходящий небольшой допуск по внешнему диаметру.

13.2.2.6 Конструкция хомута также должна обеспечивать отсутствие острых краев, которые могли бы привести к локальному чрезмерному изгибу трубы.

### **13.3 Материалы**

#### 13.3.1 Общие сведения

В пункте 13.3 указаны материалы, которые обычно используются для полимерной внутренней футеровки зажимных устройств.

#### 13.3.2 Материалы полимерной внутренней футеровки

Внутренняя футеровка может изготавливаться из полиуретана и полихлоропрена. Материалы полимерной внутренней футеровки должны представлять следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды.

Примечание - Обычное впитывание воды состаренного образца полихлоропрена - 5 %;

- сопротивление гидролизу;

- ограниченное ухудшение в результате старения;

- хорошие характеристики в указанном температурном диапазоне (с учетом максимальной температуры внешней оболочки гибкой трубы);

- способность выдерживать постоянные нагрузки в течение срока службы, вызванные компрессионной силой зажима и расширением/сужением гибкой трубы без

отделения хомута или неисправности материала из-за ползучести;

- модули сжатия и упругости при растяжении, которые позволяют воспринять расширения и сжатия гибкой трубы и силу зажима без излишнего напряжения или натяжения.

Примечание - Обычное удлинение при разрыве для полихлоропрена составляет около 400 % (до старения).

- Хорошая озоностойкость (относится только к таким условиям, при которых на материал воздействует воздух, например, во время хранения).

### **13.4 Испытания опытного образца**

#### 13.4.1 Испытание осевой силы хомута

##### 13.4.1.1 Описание

Целью испытания осевой силы хомута является определение того, при какой осевой силе на гибкой трубе хомут начнет соскальзывать. При конструкциях хомута за пределами текущей конструкции, включая с резиновой внутренней футеровкой, дополнительная цель такого испытания может включать определение радиальной жесткости хомута. Данное значение силы может использоваться при сравнении проектных расчетов, в частности определения радиальной жесткости аналитическими средствами не является прямым. Необходимо установить максимальную длину, которая возможна для испытания на испытательной установке.

##### 13.4.1.2 Порядок

13.4.1.2.1 Хомут должен собираться вокруг образца гибкой трубы, если возможно, или представлять макет гибкой трубы в натуральную величину. В последнем случае результаты испытания должны корректироваться с учетом разницы трения между макетом и фактической гибкой трубой. Должна быть проверенная методика, указанная в документах, для регулировки калибровки такого трения. Сборка должна включать все компоненты, составляющие хомут, включая всю внутреннюю футеровку и все крепежные элементы, необходимые для фиксации данных компонентов на месте. Хомут должен собираться вокруг гибкой трубы с помощью крепежных элементов с

такими же характеристиками и фиксироваться с такой же силой зажима, как было определено на этапе проектирования для работы. По возможности, необходимо измерить радиальную жесткость хомута.

13.4.1.2.2 Могут быть различные сочетания условий нагрузки, на которые рассчитывается хомут. Испытание должно проверить прочность хомута в отношении наиболее критичных сочетаний условий нагрузки, как минимум. Наихудшее сочетание условий нагрузки может произойти во время установки. Для всех условий нагрузки необходимо приложить осевую силу, а силу, при которой происходит соскальзывание, необходимо зарегистрировать или определить. Если испытательная сила не приводит к соскальзыванию хомута, необходимо иметь действующую методику, указанную в документах, для экстраполяции силы при соскальзывании. Данная методика должна быть удостоверена физическим испытанием.

#### 13.4.1.3 Критерии приемки

Осевая сила, при которой происходит соскальзывание, должна быть больше или равной максимальной осевой силе во время установки или работы, умноженной на коэффициент надежности зажима, который составляет, как минимум 1,5 (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

#### 13.4.2 Испытание продолжительной ползучести хомута

##### 13.4.2.1 Описание

Целью испытания продолжительной ползучести хомута является определение объема ползучести, которая воздействует на внутреннюю футеровку или корпуса полимерных, или композитных хомутов при приложении силы зажима в течение продолжительного времени. Необходимо установить максимальную длину, которая возможна для испытания на испытательной установке.

##### 13.4.2.2 Порядок

13.4.2.2.1 Хомут должен собираться вокруг образца гибкой трубы, если возможно, или представлять макет гибкой трубы в натуральную величину. Сборка должна включать все компоненты, составляющие хомут, включая всю внутреннюю футеровку и все крепежные элементы, необходимые для фиксации данных компонентов на месте.



Хомут должен собираться вокруг гибкой трубы с помощью крепежных элементов с такими же характеристиками и фиксироваться с такой же силой зажима, как было определено на этапе проектирования для работы.

13.4.2.2 Необходимо применить все остальные постоянные нагрузки, которые будет испытывать внутренняя футеровка при работе. Хомут нужно оставить собранным на период времени, достаточный для определений необходимых свойств ползучести.

#### 13.4.2.3 Критерии приемки

Полимерная внутренняя футеровка и/или корпус полимерного или композитного хомута не должен подвергаться компрессионной ползучести при рабочих нагрузках, если потерян хомут, и не должны допускать перемещение гибкой трубы относительно себя.

### 13.5 Установка

13.5.1 Должны быть процедуры, гарантирующие правильные силы затяжки для крепежных элементов и тросов, чтобы зафиксировать хомут на месте. Необходимо вести записи о применяемых силах зажима для каждого хомута. Неправильно прилагаемые силы могут привести к соскальзыванию хомута с места во время установки или эксплуатации.

13.5.2 Если корпус хомута состоит из большого количества отдельных сегментов (см. рисунок 97), расстояние между сегментами должно быть одинаковым по окружности при установке хомута. Его можно обеспечить использованием деревянных прокладок, чтобы получить одинаковые промежутки, пока растет крутящий момент, затем прокладки надо убрать. Таким образом, между сегментами остаются зазоры, и сохраняется горизонтальное выравнивание при полном затягивании хомута.

13.5.3 В случае с подводными кабелями может быть значительное сжатие внешней оболочки на внутренних элементах из-за гидростатического давления. Это приведет к снижению диаметра подводного кабеля, который постепенно будет снова расширяться при затоплении пустот подводного кабеля. Это может привести к непредвиденному отсоединению хомутов во время установки. Чтобы решить такую проблему после проектирования, потребуется внедрить средства для преднамеренного

затопления пустот подводного кабеля через верхний конец с помощью «окон затопления», вырезанных во внешней оболочке подводного кабеля с определенными интервалами, замедляя, таким образом, развертывание модулей, чтобы обеспечить время, достаточное для достижения выравнивания давления.

## **14 Хомуты подводного буя**

### **14.1 Область применения**

14.1.1 Некоторые рекомендации, относящиеся к хомутам подводного буя, даны в виде перекрестной ссылки на пункт 5, в котором даны рекомендации по зажимному устройству.

14.1.2 Рекомендации в пункте 14 относятся к зажимным устройствам, используемым на гибких трубах, и не подходят для зажимных устройств подводных кабелей.

### **14.2 Вопросы проектирования**

#### **14.2.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию хомутов подводных буюв. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

14.2 относится к следующим конкретным вопросам:

- процесс проектирования;
- проектные критерии;
- расчетные нагрузки.

#### **14.2.2 Обзор проектирования**

Процесс проектирования хомута подводного буя представлен на схеме на рисунке 14.1, и обычно выполняется на следующих этапах.

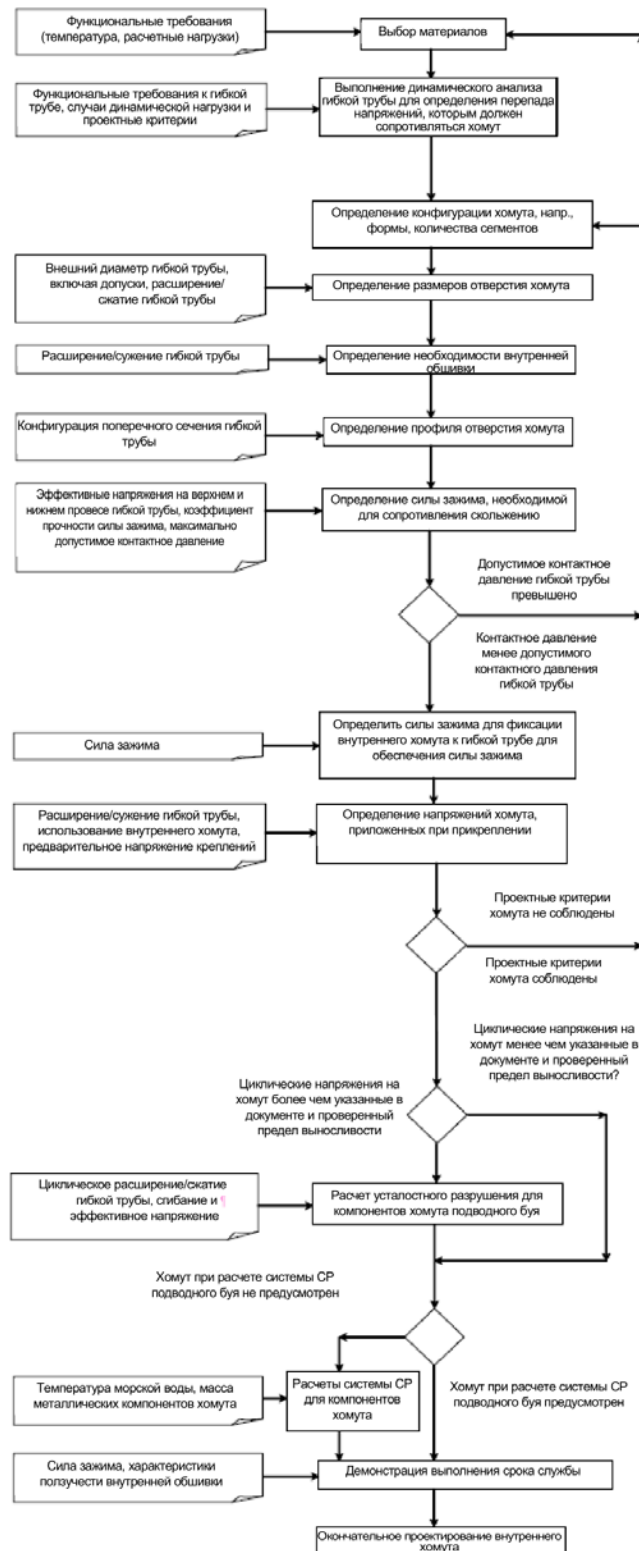


Рисунок 14.1 – Схема конструкции хомута буя подводного

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Руководства по выбору материалов см. в 14.4;

- выполняется ряд динамических анализов конфигурации подводного буя и гибкой трубы;

- определяется максимальное дифференциальное эффективное натяжение между верхним и нижним провесом, который может выдержать хомут. Общие руководства по анализу см. в 14.4.2;

- определяется конфигурация внутреннего хомута, включая количество сегментов хомута и общую форму хомута;

- определяются необходимые размеры отверстия внутреннего хомута, чтобы включить внешний диаметр гибкой трубы, включая допуски, или внешний диаметр в заводском исполнении, если есть;

- определяется необходимость приспособления внутренней футеровки к расширению/сжатию гибкой трубы и включения допусков на внешнем диаметре гибкой трубы (если проект основывается на расчетном внешнем диаметре);

- определяется профиль отверстия внутреннего хомута для определенной трубной конструкции, которая будет зажата;

- определяется необходимое значение зажима, чтобы предотвратить соскальзывание при дифференциальном эффективном натяжении между верхним и нижним провисом гибкой трубы и для соблюдения максимально допустимого контактного давления гибкой трубы (см. 14.2.5);

- определяются силы для обеспечения требуемого зажима;

- проверяются напряжения, прилагаемые к хомуту при фиксации, в отношении соблюдения допустимых предельных значений для материала хомута;

- при необходимости расчеты усталостного повреждения выполняются в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

- если расчеты системы катодной защиты подводного буя для хомута не предусматриваются, расчеты системы катодной защиты выполняются для определения необходимых масс анодов для хомута;

- проверяются другие характеристики срока службы материалов в соответствии с

пунктом 14.3.3 ГОСТ Р ИСО 13628-16, включая демонстрации того, что ползучесть полимерных внутренней футеровки не приведет к осевому соскальзыванию и вращению хомута.

#### 14.2.3 Проектные критерии

Рекомендации по общим расчетным критериям даны в 5.3.6, а рекомендации по расчетным критериям зажима даны в 13.2.1.

#### 14.2.4 Проектирование хомута

14.2.4.1 Рекомендации по общему проектированию хомута см. в 13.2.2.

14.2.4.2 Необходимо определить высоту хомута над его конструкционной опорой с соответствующим рассмотрением чрезмерного изгиба гибкой трубы на выходах хомута, см. рисунок 14.2.

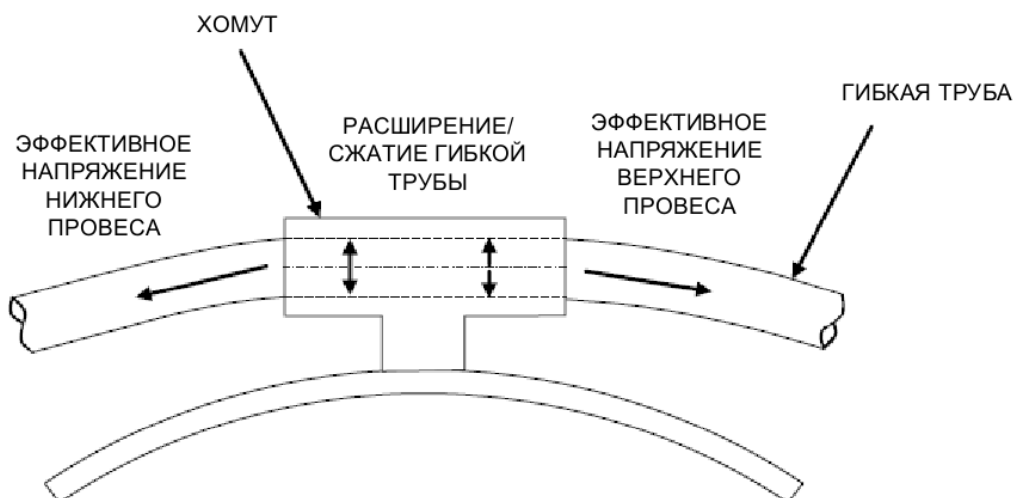


Рисунок 14.2 – Натяжение гибкого трубопровода дифференциальное эффективное

#### 14.2.5 Нагрузки

Нагрузки, которые воздействуют на хомут подводного буя, схематически показаны на рисунке 99. Подводный буй должен проектироваться таким образом, чтобы у него было достаточно силы для сопротивления различным эффективным натяжениям на всех сторонах хомута. Хомут также должен принимать расширения и сжатия гибкой трубы, как показано на рисунке 14.2.

### **14.3 Материалы**

#### 14.3.1 Общие сведения

В 14.3 указаны материалы, которые обычно используются в хомутах подводных буюв.

#### 14.3.2 Материалы хомута подводного бую

14.3.2.1 Корпуса подводных хомутов, как правило, делаются из стали. Внутренняя футеровка может изготавливаться из полиуретана или полихлоропрена.

14.3.2.2 Руководства по выбору материалов полимерной внутренней футеровки даны в 13.3.2.

### **14.4 Вопросы анализа**

#### 14.4.1 Местный анализ

14.4.1.1 Хомут подводного бую обычно состоит из круглых пластин, которые свариваются вместе, а также из крепежных элементов, обеспечивающих силу зажима.

У всех следующих компонентов необходимо проверить напряжение:

- конструкционные секции;
- сварные узлы;
- болты;
- точки подъема.

14.4.1.2 Способы структурного анализа для некоторых из вышеупомянутых компонентов хорошо известны и даны в нескольких промышленных стандартах, например, перечисленных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Рекомендации по проектированию хомута указано также в 13.2.2. Для определенных напряжений нестандартных компонентов необходимо использовать трехмерный анализ методом конечных элементов.

#### 14.4.2 Общий анализ

Общий анализ может использоваться для определения эффективного натяжения в верхнем и нижнем провесе гибкой трубы и для определения максимального дифференциального эффективного натяжения, которое может выдерживать хомут. Как описывается в 10.4.3.3, хомут необязательно моделировать в общем анализе.

## **14.5 Производство**

### 14.5.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству хомутов подводных буюв. В данном подпункте описываются процессы, выполняемые при производстве хомута подводного бую.

### 14.5.2 Процесс производства

Хомут подводного бую обычно изготавливается разъемным, из двух или более сегментов (см. рисунок 25).

Основные процессы при производстве хомута подводного бую:

- обработка болтовых отверстий при необходимости;
- сварка конструкционных элементов друг с другом;
- нанесение коррозионностойких покрытий;
- присоединение анодов катодной защиты к хомуту каната.

## **14.6 Испытания опытного образца**

### 14.6.1 Применение испытаний опытного образца

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при требовании осевой силы хомута, в соответствии с 5.6.3:

Осевая сила в результате дифференциального эффективного натяжения гибкой трубы.

- материалы;
- процесс(ы) производства;
- внутренний и внешний диаметр гибкой трубы;
- внешние размеры хомута, включая длину;
- проектирование нового хомута.

### 14.6.2 Испытание осевой силы зажима

Испытания осевой силы зажима должны проводиться в соответствии с 13.4.1. Прилагаемая осевая сила должна представлять наибольшую осевую силу из-за дифференциального эффективного натяжения гибкой трубы.

## **14.7 Монтаж**

### 14.7.1 Общие сведения

В 14.7 даны руководства и рекомендации по монтажу хомутов подводных бueв, включая общие аспекты и пример порядка установки.

### 14.7.2 Порядок монтажа

14.7.2.1 Хомуты подводных бueв можно устанавливать при помощи водолазов или без них. Перед установкой необходимо отметить на гибкой трубе правильное положение для прикрепления хомута.

14.7.2.2 Перед присоединением хомута, поверхность гибкой трубы в месте хомута и внутренняя поверхность хомута должны быть очищены от загрязнений, таких как смазка или масло.

14.7.2.3 Хомут можно собрать на гибкой трубе до ее спуска с борта, обеспечивая, таким образом, контролируемые условия на судне, а не под водой. Это особенно касается случаев, когда сборка хомута требует внимательной затяжки болтов, чтобы получить правильное предварительное натяжение. Подъемные тросы используются после для укладки гибкой трубы на подводный буй и выравнивания хомута на гнезде на раме подводного бую. Чтобы контролировать такие операции и помочь выравниванию хомута в гнезде используются ТНПА.

## **14.8 Управление целостностью**

### 14.8.1 Общие сведения

В 14.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 14.8.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 11 указаны возможные дефекты для хомутов подводных бueв.



Таблица 11 – Возможные дефекты хомута буя подводного

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
13.1	Неисправность хомута	<p>a) Отделение гибкой трубы от хомута, потеря конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы</p> <p>b) Повреждение гибкой трубы при соскабливании внутренней оболочки внутри отверстия хомута</p> <p>c) Возможное повреждение гибкой трубы в результате воздействия острых краев, получившихся при повреждении</p>	<p>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект))</p> <p>b) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>c) Усталостная поломка</p> <p>d) Коррозия</p> <p>e) Неисправность сварного соединения</p> <p>f) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</p> <p>g) Водородная хрупкость</p> <p>h) Неправильная конструкция гибкой</p>	<p>a) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери хомута на расчетные критерии гибкой трубы.</p> <p>b) При необходимости, замена хомута либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы. Может быть трудно заменить хомута из-за движений</p>	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины хомута</p> <p>c) Замена конфигурации хомута, чтобы изменить распределение нагрузки</p> <p>d) Проектирование сварных соединений</p> <p>e) Проектирование системы катодной защиты</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			трубы		
13.2	Отсоединение хомута	а) Потеря конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы. Последствия в соответствии с 13.1 б)	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 35 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком большой) в) Ползучесть полимерной внутренней футеровки г) Неправильное проектирование (напр., неправильный зажим) д) Неправильная установка (неправильные приложенные силы зажима к хомуту)	а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров скольжения гибкой трубы относительно хомута на конфигурацию и расчетные критерии гибкой трубы. б) Увеличение частоты проверок для контроля скольжения гибкой трубы относительно хомута	а) Переоценка сил, которые может выдержать хомут б) Увеличение сопротивления зажиму (будут увеличены силы зажима) в) Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации
13.3	Неисправность крепежа корпуса хомута	а) Отсоединение хомута и последствия в соответствии с 13.2	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 35 ГОСТ Р ИСО	а) Обсуждение с производителем целостности	а) Выбор материалов б) Увеличение

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		b) Возможное отделение хомута от гибкой трубы в соответствии с 13.1 а)	13628-16) b) Усталостная поломка c) Коррозия d) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям) e) Водородная хрупкость f) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений) g) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)	хомута и гибкой трубы при пропущенных крепежных элементах b) Может быть возможно установить сменные крепежные элементы, если необходимо гарантировать целостность гибкой трубы	размера крепления c) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов в соответствующих случаях
13.4	Чрезмерное контактное давление, оказываемое хомутом	Возможная неисправность гибкой трубы	a) Чрезмерная нагрузка (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)) b) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута	Снижение сил затяжки на месте, если возможно	a) Снижение значения зажима (будут снижены силы зажима) b) Будет увеличена длина хомута таким

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			слишком маленький) с) Неправильная конструкция (слишком большое значение зажима) d) Неправильная установка (напр. крепления затянуты слишком плотно)		образом, что такая сила будет прилагаться по большей области
13.5	Чрезмерный изгиб гибкой трубы на концах хомута	Возможная неисправность гибкой трубы	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 35 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Заводской брак (напр., выход хомута изготовлен с недостаточной степенью свободы для изгиба трубы) c) Неправильное проектирование (напр., выход хомута спроектирован с недостаточной степенью свободы для изгиба трубы) Неправильная	Улучшение устройства ограничения изгиба на краях хомута, если возможно	Установка устройства ограничения изгиба на краях хомута

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			установка (напр., чрезмерный изгиб трубы во время укладки хомута на подводный буй)		
13.6	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции	а) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно) с) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)	Обращение к отчету по проектированию/производителю по вопросам области нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона превышает расчетную	а) Выбор системы покрытия краской б) Проектирование системы катодной защиты
13.7	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия конструкции	а) Сломан анод(ы) б) Неправильное проектирование системы катодной защиты (т.е. неправильные массы анодов)	а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система СР может обеспечивать защиту	Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
				b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	
13.8	Коррозия хомута или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезвычайно коррозионная среда</li> <li>b) Неправильная защита системы катодной защиты</li> <li>c) Повреждение системы покрытия краской</li> <li>d) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией</li> <li>b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>

### 14.8.3 Методы мониторинга

14.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 13.1 - 13.3 и 13.6 - 13.8, описанных в таблице 11. Если размещается маркировка по окружности гибкой трубы на подводном буге, должно быть очевидно, когда гибкая труба соскальзывает относительно хомута, так как такая маркировка будет видна со стороны хомута.

14.8.3.2 Затруднительно обнаружить дефект 13.4, поскольку хомут будет закрыт гибкой трубой.

14.8.3.3 Затруднена оценка наличия чрезмерного изгиба гибкой трубы в соответствии с дефектом 13.5, если нельзя измерить радиус изгиба гибкой трубы во время эксплуатации с помощью оптоволоконного мониторинга, например, или если отсутствует последующее повреждение внешней оболочки гибкой трубы.

## **15 Хомуты канатов**

### **15.1 Область применения**

Некоторые рекомендации, относящиеся к хомутам тросов даны в виде перекрестной ссылки на пункт 5, в котором даны рекомендации по зажимному устройству. Пункт 15 не относится к устройствам с тросами или ограничивающим изгиб, прикрепленными к хомуту троса. Рекомендации по тросам указаны в 10.9. Рекомендации по ограничителям изгиба, которые присоединяются к хомутам тросов указаны в пункте 6 (элементы жесткости на изгиб), пункте 7 (ограничители изгиба) и пункте 8 (раструбы) в зависимости от конкретного случая.

### **15.2 Вопросы проектирования**

#### 15.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию хомута. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16.

Данный подпункт относится к следующим конкретным вопросам (проект):

- процесс проектирования;
- проектные критерии;

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

- расчетные нагрузки.

#### 15.2.2 Обзор проектирования

Процесс проектирования хомута троса представлен на схеме на рисунке 15.1, и выполняется на следующих этапах:

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

- выполняется ряд динамических анализов конфигурации гибкой трубы с канатами;

- таким образом определяется длина троса, необходимая для обеспечения нужной конфигурации гибкой трубы и соблюдения расчетных критериев трубы. Общий анализ предусматривает нагрузки натяжения, которые должен выдерживать трос, и показывает, нужны ли устройства ограничения изгиба для предотвращения чрезмерного изгиба гибкой трубы на хомуте троса. Руководства по общему анализу указаны в 15.4.3;

- определяется конфигурация хомута троса, включая всю форму и внешние размеры хомута;

- определяются необходимые размеры отверстия хомута, чтобы включить внешний диаметр гибкой трубы, включая допуски, или диаметр гибкой трубы в заводском исполнении, если есть;

- определяется необходимость приспособления внутренней футеровки к расширению/сжатию гибкой трубы и включения допусков на внешнем диаметре гибкой трубы (см. 13.2.2.4, если проект основывается на расчетном внешнем диаметре);

- определяются требования к болтовой сборке для приспособления к расширению/сжатию гибкой трубы (см. 15.2.3.2);

- определяется профиль отверстия хомута (профилированный или гладкий) для определенной конструкции трубы, которая будет зажата;

- определяется сила зажима, необходимая для предотвращения спада при нагрузках хомута и для соблюдения максимально допустимого контактного давления гибкой трубы;

- определяются силы для обеспечения требуемого зажима;



- проверяются напряжения, прилагаемые к хомуту при фиксации и подвергаемые нагрузкам каната, в отношении соблюдения допустимых предельных значений для материала хомута;

- определяется конфигурация тросов, включая тип (цепь, канат или синтетика).

Обзор конструкции каната представлен в 11.2.2;

- определяется оборудование, необходимое для присоединения каната;

- определяется сборка для соединения каната (см. 11.2.4.1 и 11.2.4.2);

- основание каната рассчитано выдерживать горизонтальные и вертикальные компоненты натяжения троса и обеспечивать точки соединения для оборудования соединения тросов. Обзор конструкции троса представлен в 12.2.2;

- если диапазоны напряжения превышают определенные в документах и проверенные пределы прочности, утвержденные заказчиком, проводятся расчеты усталостного повреждения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

- выполняются расчеты системы катодной защиты, чтобы определить необходимые массы анодов;

- если рабочие критерии минимального радиуса изгиба не соблюдены на краях хомута троса, проектируется устройство ограничения изгиба. Обзор проектирования элементов жесткости на изгиб, ограничителей изгиба и раструбов см. в 6.2.2, 7.2.2 и 7.2.3, и 8.2.2, соответственно.

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

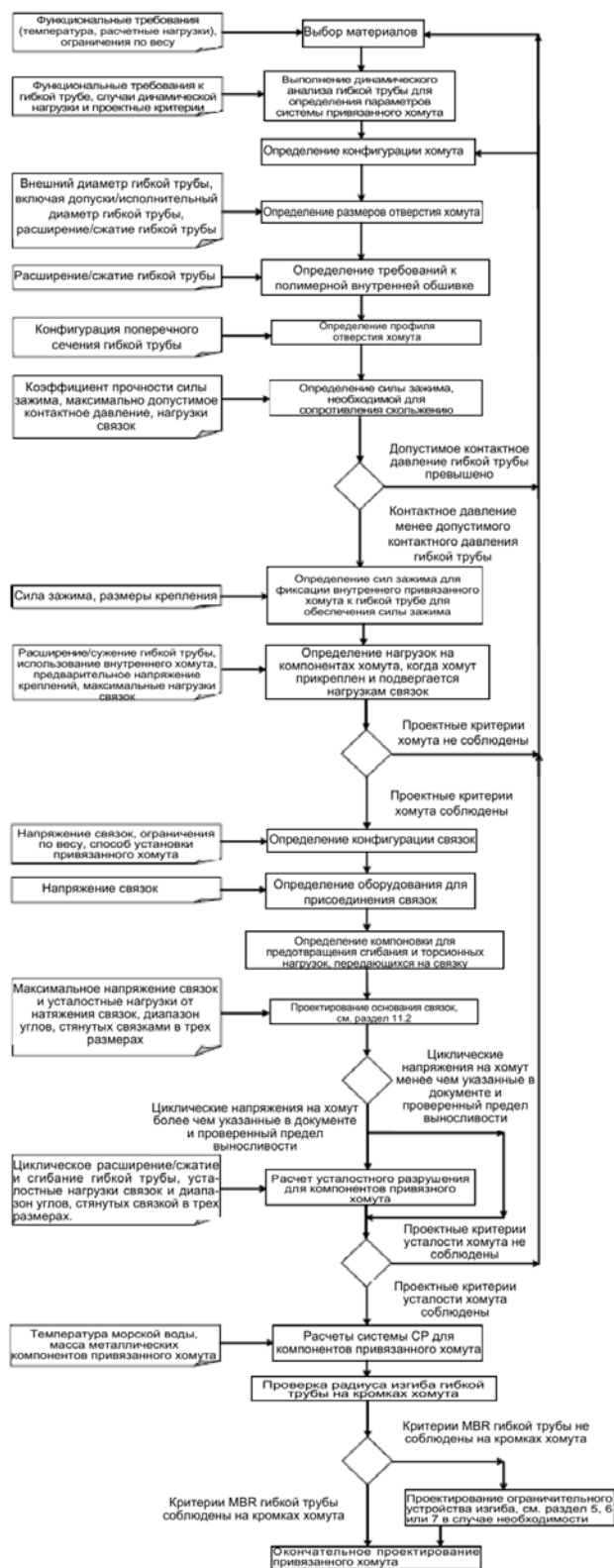


Рисунок 15.1 – Схема конструкции хомута каната

### 15.2.3 Проектирование хомута каната

15.2.3.1 Рекомендации по общему проектированию хомута см. в 13.2.2.

15.2.3.2 Восприятие изменений диаметра гибкой трубы часто достигается болтовым соединением сегментов хомута троса с помощью длинных болтов (длина болтов приблизительно равна ширине хомута). Таким образом сила смещения распределяется по большей длине и, следовательно, снижается натяжение болта. Пример такой болтовой сборки показан на рисунке 15.2.



Рисунок 15.2 – Болтовая сборка хомута каната

15.2.3.3 Пункт 15.3.2.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 требует, чтобы гибкая труба не превышала критерии своего рабочего минимального радиуса изгиба в зоне хомута троса. Если критерии минимального радиуса изгиба не соблюдены с самого начала, существует большое количество решений, описанных в следующих подпунктах.

15.2.3.4 Устройство ограничения изгиба может быть установлено на выходах хомута троса, чтобы предотвратить чрезмерный изгиб гибкой трубы. Необходимо указать требования к ограничителю изгиба на основании чрезмерного изгиба, который может быть определен в общем анализе. Рекомендации по ограничителям изгиба, элементам прочности на изгиб, ограничителям изгиба и раструбам, которые могут присоединяться к хомутам тросов, даны в пунктах 6, 7 и 8 соответственно.

15.2.3.5 В зоне хомута троса могут быть сделано несколько внешних оболочек гибкой трубы, что, таким образом, локально увеличивает жесткость изгиба гибкой трубы и предотвращает чрезмерный изгиб. Итерационный динамический анализ может определить приемлемую толщину оболочки (т.е. элемента жесткости на изгиб), которая предотвращает чрезмерный изгиб гибкой трубы.

15.2.3.6 В хомуте может быть предусмотрен расширяющийся выход (т.е. больший внутренний диаметр хомута в направлении выхода хомута), чтобы предотвратить возможный чрезмерный изгиб гибкой трубы. Такой подход не снижает чрезмерный изгиб в такой же степени, как ограничитель изгиба.

15.2.3.7 Рекомендации по точке соединения троса см. в 11.2.4.1-11.2.4.2

#### 15.2.4 Коррозионная защита

15.2.4.1 Хомуты тросов с металлическими компонентами, не устойчивыми к коррозии, требуют специальной системы катодной защиты, так как они электрически изолированы от других конструкций.

15.2.4.2 Если металлические материалы, используемые для корпуса хомута, отличаются от тросов (например, стальные в противовес титановым), можно установить композитную оболочку на корпус хомута, чтобы предотвратить гальваническую коррозию. Композитная оболочка обеспечивает электрическую изоляцию между корпусом хомута и тросами.

#### 15.2.5 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у хомута троса (см. в таблице 12). В таблице 12 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Таблица 12 – Возможные дефекты хомута троса

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
14.1	Неисправность хомута	<p>a) Возможное отделение гибкой трубы от хомута, потеря конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы</p> <p>b) Повреждение гибкой трубы из-за соскабливания хомутом внешней оболочки вдоль</p> <p>c) Возможное повреждение гибкой трубы в результате воздействия острых краев, получившихся при повреждении</p>	<p>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 37 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>c) Усталостная поломка</p> <p>d) Коррозия (только металлические хомуты тросов)</p> <p>e) Неисправность сварного соединения (только металлические хомуты канатов)</p>	<p>a) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери хомута на расчетные критерии гибкой трубы.</p> <p>b) При необходимости, замена хомута либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы. Может быть трудно заменить хомут из-за движений гибкой трубы</p>	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины хомута</p> <p>c) Замена конфигурации хомута, чтобы изменить распределение нагрузки</p> <p>d) Проектирование сварных соединений</p> <p>e) Проектирование системы катодной защиты</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>f) Заводской брак</p> <p>g) Старение материала из-за</p> <p>h) воздействия морской воды/высокой температуры (только композитные хомуты тросов)</p> <p>i) Ползучесть в результате постоянной нагрузки от болтов (только композитные хомуты кабель-тросов)</p> <p>j) Неправильная конструкция Неправильная установка (болты затянуты неправильно)</p>		
14.2	Отсоединение хомута	а) Потеря конфигурации и возможная	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 37	а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия	а) Переоценка сил, которые может выдержать хомут

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		неисправность гибкой трубы b) Последствия в соответствии с 14.1 b)	ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком большой) c) Ползучесть полимерной внутренней футеровки d) Неправильное проектирование (напр., неправильный зажим) e) Неправильная установка (напр., неправильные приложенные силы зажима к хомуту)	рабочих параметров соскальзывания хомута на конфигурацию и расчетные критерии гибкой трубы. b) Увеличение частоты проверок для контроля скольжения хомута	b) Увеличение сопротивления зажиму (будут увеличены силы зажима) c) Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации
14.3	Неисправность крепежа корпуса хомута	a) Отсоединение хомута и последствия в соответствии с 14.2 Возможное	a) Чрезмерная нагрузка (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)) b) Усталостная поломка	a) Обсуждение с производителем целостности хомута и гибкой трубы при пропущенных крепежных элементах b) Может быть возможно	a) Выбор материалов b) Увеличение размера крепления c) Увеличение количества и/или

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		отделение хомута от гибкой трубы в соответствии с 14.1 а)	<p>с) Коррозия</p> <p>d) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</p> <p>е) Водородная хрупкость</p> <p>f) Неправильная конструкция</p> <p>g) (слишком маленький размер креплений)</p> <p>Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)</p>	установить сменные крепежные элементы, если необходимо гарантировать целостность гибкой трубы	распределения крепежных элементов в соответствующих случаях
14.4	Чрезмерное контактное давление, оказываемое хомутом	Возможная неисправность гибкой трубы	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 37 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Заводской брак (напр., внутренний</p>	Снижение сил затяжки на месте, если возможно	<p>а) Снижение значения зажима (будут снижены силы зажима)</p> <p>б) Будет увеличена длина хомута таким</p>



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>диаметр корпуса хомута слишком маленький)</p> <p>с) Неправильная конструкция (слишком большое значение зажима)</p> <p>d) Неправильная установка (напр. крепления затянуты слишком плотно)</p>		<p>образом, что такая сила будет прилагаться по большей области</p>
14.5	Чрезмерный изгиб гибкой трубы на концах хомута	Возможная неисправность гибкой трубы	<p>a) Чрезмерный изгиб гибкой трубы</p> <p>b) Заводской брак</p> <p>c) (напр., выход хомута изготовлен с недостаточной степенью свободы для изгиба трубы)</p> <p>d) Неправильное проектирование (напр., выход хомута спроектирован с недостаточной</p>	<p>Улучшение устройства ограничения изгиба на краях хомута, если возможно. Замена на месте потребовала бы средств закрепления ограничителя изгиба в условиях на море. Может быть трудно заменить ограничитель изгиба хомута троса из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</p>	<p>Установка устройства ограничения изгиба на краях хомута</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>степенью свободы для изгиба трубы) е) Неправильная установка (напр., чрезмерный изгиб трубы во время установки) Неправильное устройство ограничения изгиба на выходах хомута (см. таблицу 3, таблицу 4 или таблицу 5)</p>		
14.6	Неисправность точки соединения троса	Отделение гибкой трубы от троса, потеря конфигурации и возможная неисправность гибкой трубы	<p>а) Чрезмерная нагрузка: 1) чрезмерное натяжение троса 2) упавший объект 3) удар от подводной конструкции (напр., швартовный конец) б) Усталостная поломка с) Коррозия</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери кабель-троса на расчетные критерии гибкой трубы. б) Замена троса на месте</p>	<p>а) Увеличение SWL точки соединения б) Увеличение допуска на изнашивание при средствах соединения с) Изменение конфигурации точки соединения</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			d) Изнашивание e) Неисправность сварного соединения f) Заводской брак (термическая обработка не соответствует техническим требованиям) g) Водородная хрупкость h) Неправильное проектирование (значение SWL слишком низкое) i) Неправильная установка (шпильки скобы неправильно закреплены болтами) j) Повреждение во время установки		
14.7	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции	a) Повреждение во время погрузочно-	Обращение к отчету по проектированию/производителю по вопросам области	a) Выбор системы покрытия краской b) Проектирование

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно) с) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)	нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона превышает расчетную	системы катодной защиты
14.8	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия конструкции	а) Сломан анод(ы) б) Неправильное проектирование системы катодной защиты (напр., неправильные массы анодов)	а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	Проектирование системы катодной защиты
14.9	Коррозия хомута троса или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции	а) Чрезвычайно коррозионная среда б) Неправильная защита системы	а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией б) Установка усовершенствованных анодов	а) Выбор материалов б) Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			катодной защиты с) Повреждение d) системы покрытия краской Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты).	на длительный срок	
14.10	Неисправность присоединенного ограничителя изгиба	Возможный чрезмерный изгиб и возможная неисправность гибкой трубы	См. таблицу 3, таблицу 4 или таблицу 5 в зависимости от конкретного случая		

### 15.2.6 Проектные критерии

Общие рекомендации по расчетным критериям даны в 5.3.6, а рекомендации по расчетным критериям значения зажима даны в 13.2.1.

### 15.2.7 Нагрузки

Нагрузки, которые воздействуют на хомут каната, схематически показаны на рисунке 15.3. Нагрузки включают компоненты натяжения троса  $T_1$  и  $T_2$ , воздействующие параллельно и поперечно хомуту, соответственно, гидростатическое давление на расчетной глубине воды и расширения и сжатия гибкой трубы. Зажим должен выдерживать параллельный компонент  $T_1$  для предотвращения соскальзывания. Хомут троса должен проектироваться таким образом, чтобы выдерживал максимальное натяжение троса, как воздействующее параллельно его длине, например, во время установки (см. 15.7.2.1).

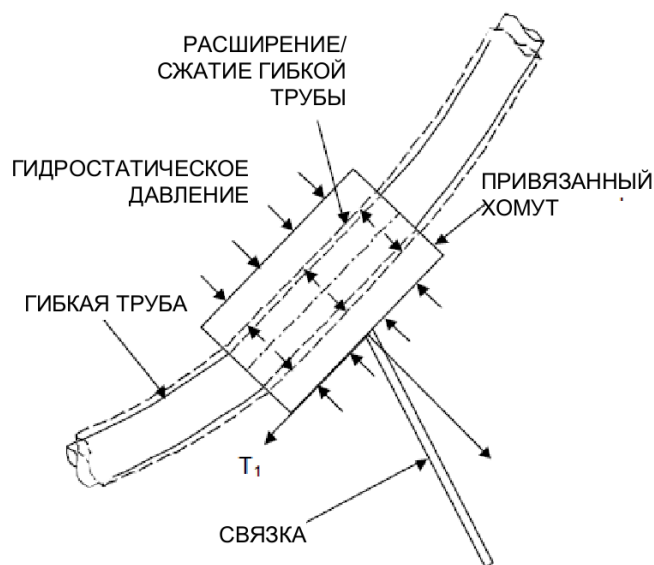


Рисунок 15.3 – Нагрузки хомута каната

## 15.3 Материалы

### 15.3.1 Общие сведения

В 15.3 указаны материалы, которые обычно используются в хомутах каната, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.

### 15.3.2 Материалы хомута каната

15.3.2.1 Как правило, для хомутов тросов требуются материалы с высокими эксплуатационными характеристиками, поскольку на них воздействуют большие нагрузки. Хомуты канатов могут изготавливаться из конструкционной стали высокой прочности или стеклопластика. Композитные материалы могут использоваться, если есть ограничения по массе, также их преимуществом является коррозионная устойчивость.

15.3.2.2 Руководства по выбору материалов полимерной внутренней футеровки даны в 13.3.2.

15.3.2.3 Композитные материалы хомута троса должны отображать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды;
- сопротивление гидролизу;
- ограниченное ухудшение эксплуатационных свойств в результате старения;
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда гибкой трубы находится под высокой температурой);
- минимальный вес в морской воде (это помогает минимизировать весовые нагрузки хомута троса на гибкой трубе);
- способность выдерживать высокие нагрузки, вызванные канатом;
- способность выдерживать циклические нагрузки от троса в течение срока службы без усталостного повреждения.

15.3.2.4 Внутренняя футеровка может изготавливаться из полиуретана. Материал внутренней футеровки должен быть достаточно податливым, чтобы учитывать расширение и сжатие гибкой трубы.

15.3.2.5 В хомутах тросов могут быть гибкие хомуты в качестве их крепежных систем. Гибкие хомуты изготавливаются из титана для эксплуатационной доводки определенных гибких труб. Титан подходит, поскольку обладает низкой плотностью, являются коррозионностойкими и обладает достаточной эластичностью для принятия расширения и сжатия гибкой трубы.

## **15.4 Вопросы анализа**

### 15.4.1 Общие сведения

Целью данного подпункта является предоставление рекомендаций по способам анализа хомута каната.

### 15.4.2 Местный анализ

Хомут каната обычно состоит из пластин, которые свариваются вместе, а также из крепежных элементов или гибких хомутов, обеспечивающих силу зажима.

У всех следующих компонентов необходимо проверить напряжение:

- конструкционные секции;
- шарнирное кольцо;
- сварные узлы, при необходимости;
- болты;
- гибкие хомуты, при необходимости;
- точки соединения тросов и средства соединения тросов;
- точки подъема.

Способы структурного анализа для некоторых из вышеупомянутых компонентов хорошо известны и даны в нескольких промышленных стандартах, например, перечисленных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Для определения напряжений нестандартных компонентов и композитных компонентов или определения концентрации напряжения необходимо применить трехмерное исследование методом конечных элементов.

### 15.4.3 Общий анализ

Хомут троса можно четко моделировать в общем исследовании методом конечных элементов с назначением свойств большой жесткости элементам, составляющим хомут, предполагая, таким образом, жесткую конструкцию в сравнении с гибкой трубой. Соединение с тросом моделируется таким образом, чтобы элементы могли представлять вращение троса в трех измерения относительно хомута троса. Подобный способ моделирования используется для соединения на основании троса. Хомут троса обеспечивает для модели системы гибкой трубы жесткость, гидродинамические свойства и свойства массы, которые могут быть небольшими в



сравнении со всей системой. Для предварительного анализа достаточно смоделировать только соединение каната с хомутом и после четко включить хомут в окончательные модели с надлежащей жесткостью, гидродинамическими свойствами и свойствами массы.

## **15.5 Испытания опытного образца**

### 15.5.1 Применение испытаний опытного образца

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при требовании осевой силы хомута, в соответствии с 5.6.3:

- осевая сила, вызванная натяжением троса.
- материалы.
- процесс(ы) производства.
- внутренний и внешний диаметр гибкой трубы.
- внешние размеры и длина хомута.
- проектирование нового хомута.

### 15.5.2 Испытание осевой силы зажима

Испытания осевой силы зажима должны проводиться в соответствии с 13.4.1. Прилагаемая осевая сила должна представлять наибольшую осевую силу из-за натяжения троса. Может быть нецелесообразно выполнять испытания осевой силы зажима для хомутов тросов из-за имеющихся больших нагрузок. В таких случаях необходимо сосредоточиться на проверке конструкции хомута троса путем независимой проверки метода проектирования и опыта эксплуатации, указанного в документах.

## **15.6 Производство**

### 15.6.1 Общие сведения

В 15.5 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству хомутов канатов. В данном подпункте описываются обычные процессы, выполняемые при производстве хомута каната.

### 15.6.2 Процесс производства

Основные процессы при производстве металлического хомута каната:

- сварка конструкционных элементов друг с другом и точек соединения троса с основной конструкцией.

- нанесение коррозионностойких покрытий.
- присоединение анодов катодной защиты к хомуту троса.
- присоединение устройства ограничения изгиба к хомуту троса.

## **15.7 Установка**

### 15.7.1 Общие сведения

В 15.7 даны руководства и рекомендации по установке хомутов тросов, включая пример порядка установки.

### 15.7.2 Порядок установки

15.7.2.1 Перед присоединением хомута, поверхность гибкой трубы в месте хомута и внутренняя поверхность хомута должны быть очищены от загрязнений, таких как смазка или масло.

15.7.2.2 Производитель гибкой трубы должен отметить на гибкой трубе правильное положение для прикрепления хомута.

15.7.2.3 Установка хомута троса, как правило, включает следующие этапы:

- сборка хомута на гибкой трубе;
- присоединение каната;
- спуск сборки гибкой трубы/хомута за борт;
- соединение свободного конца троса с основанием каната

Подводное подсоединение каната к основанию троса можно выполнять с помощью водолазов или без них.

15.7.2.4 Канат может быть соединен с основанием троса (вес хомута) до спуска с борта, как показано на рисунке 15.3.

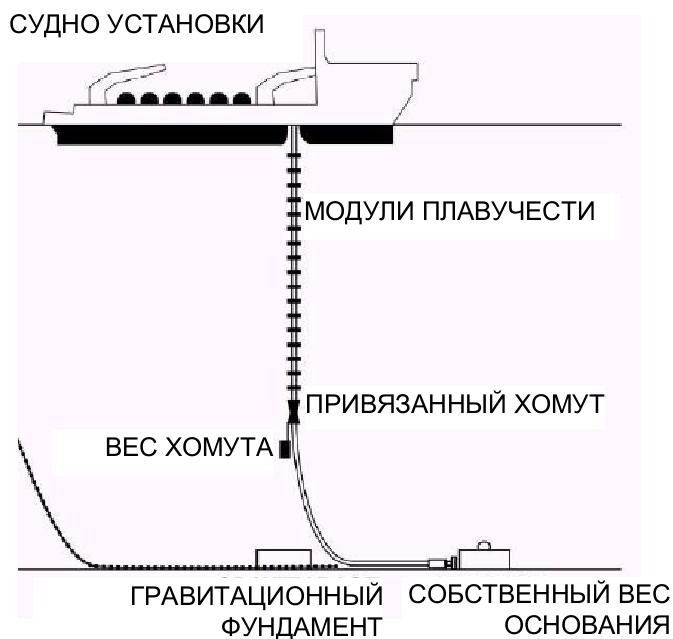


Рисунок 15.3 – Установка хомута троса

## 15.8 Управление целостностью

### 15.8.1 Общие сведения

В 15.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 15.8.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 12 указаны возможные дефекты для хомутов канатов.

### 15.8.3 Методы мониторинга

15.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 14.1 - 14.3 и 14.6 - 14.10, описанных в таблице 7. Трудно оценить, имеется ли чрезмерный изгиб гибкой трубы в соответствии с дефектом 14.5, если нельзя измерить радиус изгиба гибкой трубы во время эксплуатации с помощью оптоволоконного мониторинга или, если отсутствует последующее повреждение внешней оболочки гибкой трубы. Может быть трудно обнаружить дефект 13.4, поскольку хомут может быть закрыт гибкой трубой.

15.8.3.2 Все раструбы, прикрепленные к хомуту троса должны проверяться на наличие загрязнения, которое может накапливаться. У раструбов могут быть особенности конструкции, которые предотвращают скапливание грязи.

## **16 Переходные системы**

### **16.1 Область применения**

16.1.1 Пункт 16 относится к переходным хомутам и направляющим. Некоторые рекомендации, относящиеся к переходным хомутам, даны в виде перекрестной ссылки на пункт 4, который относится к общим рекомендациям по зажимному устройству.

16.1.2 Рекомендации из данного пункта могут применяться для подводных кабелей, кроме рекомендаций, относящихся к расчету силы зажима в 13.2.1. Необходимо отметить, что рекомендации, относящиеся к внутренней среде и температуре внешней оболочки, могут не подходить для подводных кабелей.

### **16.2 Вопросы проектирования**

#### **16.2.1 Обзор проектирования**

Процесс проектирования переходной системы представлен на схеме на рисунке 16.1, и обычно выполняется на следующих этапах:

- материалы выбираются на основании функциональных требований, данных в пункте 16.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16. Руководства по выбору материалов см. в 16.4;

- выполняется ряд динамических анализов системы гибкой трубы с переходной системой;

- таким образом определяется количество переходных хомутов и направляющих, расстояние между ними и необходимый зазор от несущей трубы. Общий анализ также предусматривает нагрузки, которые должны выдерживать переходные прокладки. Руководства по общему проектированию и анализу см. в 16.2.3 и 16.4.2;

- определяется конфигурация прокладки, т.е. фиксация гибкими хомутами или болтами;

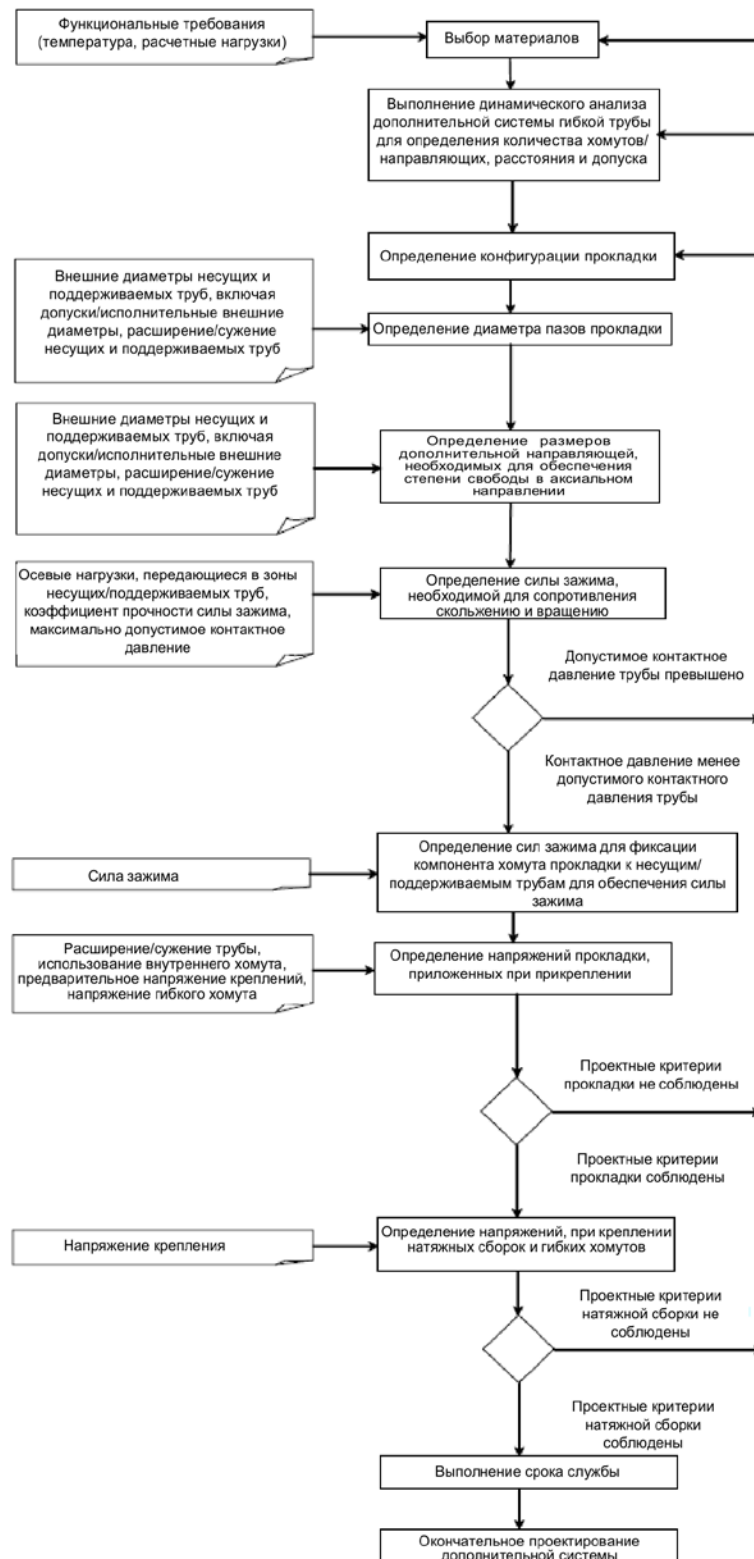


Рисунок 16.1 – Схема проектирования переходной системы

- определяются диаметры гнезда прокладки для расположения внешних диаметров несущей и поддерживаемой трубы, включая допуски, или диаметры в заводском исполнении, при необходимости;

- определяются размеры переходных направляющих для обеспечения степени свободы в аксиальном направлении для поддерживаемой трубы или, если указано, передачи осевой силы, не более, чем указано;

- определяется необходимая сила для предотвращения соскальзывания и вращения около несущей трубы при нагрузках, передаваемых прокладками и поддерживаемым трубам, и для соблюдения максимально допустимого контактного давления;

- определяются силы зажима, необходимые для обеспечения требуемого значения зажима;

- проверяются напряжения, прилагаемые к компоненту хомута прокладок при фиксации и подвергаемые прилагаемым нагрузкам, в отношении соблюдения допустимых предельных значений для материала прокладки;

- проверяются напряжения в сборках натяжения и тросах в отношении соблюдения предельных значений для их соответствующих материалов.

- проверяются характеристики срока службы материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), включая демонстрации того, что ползучесть полимерных прокладок не приведет к осевому соскальзыванию и вращению на несущей трубе.

## 16.2.2 Проектирование переходной системы

16.2.2.1 Переходная система должна проектироваться с учетом следующих аспектов, если подводный кабель или линия небольшого диаметра переходит к гибкой трубе:

- гидродинамическое взаимодействие, включая экранирование, отвердевание, гидроупругие вибрации, подъем и обрастание;

- нагрузки и изнашивание гибкой трубы.

16.2.2.2 Необходимо указать максимально допустимую осевую силу, передаваемую переходными направляющими в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16

(проект). Если общий анализ идеально представляет направляющую, как не оказывающую силу трения, могут возникнуть непредвиденные проблемы с фактической переходной системой, если хомут устанавливает слишком сильное осевое ограничение. Таким образом, при указании максимально допустимой осевой силы устанавливается предельное значение степени осевого ограничения.

16.2.2.3 Переходная система может потребоваться только во время установки. Например, если трубы закапываются после установки, функциональные требования к переходному хомуту после установки не будут слишком высокими.

16.2.2.4 Чрезмерная осевая сила может передаваться на поддерживаемые трубы с помощью кривизны системы гибкой трубы с переходной системой. Если нужно предотвратить чрезмерные осевые силы на поддерживаемой трубе, оптимальное сочетание переходных хомутов и направляющих может обеспечить отсутствие передачи осевой силы к поддерживаемой трубе. Это достигается при определении припуска по длине поддерживаемой трубы таким образом, чтобы при граничных значениях движения гибкой трубы поддерживаемая труба не была бы тугонатянутой.

### 16.2.3 Общее проектирование

16.2.3.1 Определение расположения переходной системы обычно основывается на полевом опыте или на общем анализе переходной системы. Расстояния хомутов могут отличаться вдоль системы переходной гибкой трубы, чтобы получить оптимальную конфигурацию.

16.2.3.2 В случае с переходными хомутами необходимо достаточное расстояние, чтобы поддерживаемая труба не растягивалась чрезмерно, а ее допустимое эффективное напряжение не было бы превышено. Обычное расстояние между переходными хомутами, на основании текущей промышленной практики, до 10 м. Для переходных направляющих должно быть достаточное расстояние, чтобы длина поддерживаемой трубы между направляющими не приводила к ситуации, когда превышаются критерии ее рабочего минимального радиуса изгиба. Обычное расстояние между переходными направляющими, на основании текущей промышленной практики, до 5 м. Предусмотренное провисание поддерживаемой трубы в сочетании с переходными направляющими может позволить относительное осевое

перемещение между несущей трубой и поддерживаемой трубой. Определение подходящего расстояния, однако, должно основываться на определенных проектных параметрах и расчетных критериях трубы.

16.2.3.3 Способ соединения переходной линии на соединении с судном необходимо тщательно проектировать в случае с райзером гибкой трубы.

#### 16.2.4 Проектирование установки

16.2.4.1 Фиксирующие сборки переходной прокладки должны быть такими, чтобы минимизировать время установки переходной прокладки на опорной/поддерживаемой трубе. Если возможно, должен быть только один тип фиксирующей сборки для всех переходных прокладок, так как это упрощает процесс установки.

16.2.4.2 Некоторые конструкции переходных прокладок обеспечивают закрытие троса и сборки натяжения в переходной прокладке, так что переходная прокладка будет замкнутой и не будет отсоединенных частей, которые могут потеряться. Дальнейшее преимущество состоит в том, что, если водолаз должен опуститься под воду для фиксации переходной прокладки, сборка натяжения не отделяется от переходной прокладки.

#### 16.2.5 Коррозионная защита

Крепежные элементы, сборки натяжения и металлические тросы, которые используются для фиксации переходных прокладок, могут потребовать изготовления из коррозионностойких материалов, так как они электрически изолированы, и, таким образом, не могут соединяться с системой катодной защиты. Выбор материала крепежа должен учитывать расчетную температуру. Однако, если коррозионная защита переходной системы не требуется после установки (см. 16.2.2.3), коррозионностойкие материалы могут не потребоваться.

#### 16.2.6 Типы отказов

Возможные дефекты, которые случаются у переходных прокладок, см. в таблице 13. В таблице 13 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.



Таблица 13 – Возможные дефекты переходной прокладки

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
15.1	Неисправность прокладки	<p>а) Возможное отделение поддерживаемой трубы от прокладки, возможный чрезмерный изгиб и неисправность поддерживаемой трубы</p> <p>б) Возможное столкновение несущей и поддерживаемой трубы в результате повреждения внешних оболочек трубы</p> <p>в) Возможное отделение несущей трубы от прокладки</p>	<p>а) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 40 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>в) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</p> <p>г) Старение материала из-за влияния:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) солнечного света (только поверхностные прокладки)</li> <li>2) озона (только поверхностные прокладки)</li> <li>3) морской воды</li> <li>4) высокой температуры</li> </ol> <p>д) Ползучесть при постоянной нагрузке от веса трубы и натяжения крепления и гибких хомутов</p>	<p>а) Проверка с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери прокладки на расчетные критерии поддерживаемой трубы.</p> <p>б) При необходимости, замена прокладки на месте. Может быть трудно заменить прокладку из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов на месте</p>	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение размеров переходной прокладки</p> <p>в) Замена конфигурации прокладки, чтобы изменить распределение нагрузки</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			f) Неправильное проектирование (напр., g) размеры прокладки недостаточны, чтобы выдерживать нагрузки) Неправильная установка (напр. крепления или гибкие хомуты затянуты слишком плотно)		
15.2	Неисправность гибких хомутов, в соответствующих случаях	a) Последствия в соответствии с 15.1 b) Возможное столкновение поддерживаемой трубы и прокладки с несущей трубой в результате повреждения внешних оболочек трубы	a) Чрезмерное натяжение гибкого хомута b) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец) c) Усталостная поломка d) Заводской брак e) Старение материала из-за влияния: 1) солнечного света (только поверхностные гибкие хомуты) 2) озона (только поверхностные гибкие хомуты) 3) морской воды	a) Изучение с помощью общего анализа при использовании воздействия рабочих параметров потери троса на расчетные критерии поддерживаемой трубы (прокладка теперь может свободно вращаться и/или двигаться по оси) b) При необходимости, Замена троса на месте Может быть	a) Выбор материалов b) Увеличение толщины троса c) Увеличение количества тросов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>4) высокой температуры</p> <p>f) Ползучесть из-за постоянной нагрузки из-за натяжения тросов</p> <p>g) Неправильное проектирование (напр., неправильная толщина, ширина или выбор материалов гибких хомутов). Неправильная установка (напр., гибкие хомуты затянуты слишком плотно)</p>	<p>трудно заменить трос из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</p>	
15.3	Неисправность сборки натяжения троса	Последствия в соответствии с 15.2	<p>a) Чрезмерные нагрузки из-за следующего:</p> <p>1) чрезмерное натяжение троса</p> <p>2) упавший объект</p> <p>3) удар от подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>h) Усталостная поломка</p> <p>b) Коррозия</p> <p>c) Заводской брак</p>	<p>Меры по исправлению в соответствии с 15.2 a) - d)</p>	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Усиление конструкционной прочности, напр., увеличение размеров сборки натяжения</p> <p>c) Изменение конфигурации сборки натяжения</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			(напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям) d) Неправильная конструкция e) Неправильная установка (напр., гибкие хомуты затянуты слишком плотно) Повреждение во время установки		
15.4	Неисправность крепежных элементов прокладки	a) Отсоединение хомута и последствия в соответствии с 15.5 b) Последствия в соответствии с 15.1	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 40 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Усталостная поломка c) Коррозия d) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям) e) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)	a) Если происходит потеря прокладки, исправление в соответствии с 15.1 a) и b) b) Обсуждение с производителем целостности прокладки при пропущенных крепежных элементах c) Может быть возможно установить	a) Выбор материалов b) Увеличение размера крепления c) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов в соответствующих случаях

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			f) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)	сменные крепежные элементы, если необходимо гарантировать целостность поддерживаемых труб	
15.5	Отсоединение переходного хомута на несущей трубе	<p>a) Повреждение несущей трубы из-за соскабливания переходным</p> <p>b) хомутом внешней оболочки вдоль.</p> <p>c) Возможное ударное воздействие на прилегающие переходные хомуты при отсоединении переходного хомута. Вращение переходного хомута по отношению к</p>	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 40 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Коррозия болтов или сборок натяжения,</p> <p>c) удерживающих хомут на месте</p> <p>d) Заводской брак (напр., внутренний диаметр гнезда корпуса прокладки слишком большой)</p> <p>e) Ползучесть прокладки при постоянной нагрузке от веса трубы и натяжения крепления и гибких хомутов</p> <p>f) Неправильное проектирование (напр., неправильная величина</p>	<p>a) Изучение с помощью общего анализа при использовании воздействия</p> <p>b) рабочих параметров отсоединившегося хомута на расчетные критерии поддерживаемой трубы (прокладка теперь может свободно вращаться и/или двигаться по оси) При необходимости, новая затяжка или замена хомута на</p>	<p>a) Переоценка сил, которые может выдержать хомут</p> <p>b) Увеличение сопротивления</p> <p>c) зажиму (будут увеличены силы зажима)</p> <p>Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		несущей трубе и возможный чрезмерный изгиб, и неисправность опорной трубы	зажима) Неправильная установка (неправильное приложенное натяжение и силы зажима к гибкому хомуту)	месте. Может быть трудно заново затянуть/изменить на месте из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов	
15.6	Отсоединение переходного хомута на поддерживаемой трубе	а) Возможный чрезмерный изгиб поддерживаемой трубы в результате увеличившегося провисания б) Повреждение поддерживаемой трубы из-за соскабливания переходным хомутом внешней оболочки вдоль.	Возможные причины в соответствии с 15.5	Меры по исправлению в соответствии с 15.5 а) и б)	Проектные решения/изменяемые параметры в соответствии с 15.5 а) - с)
15.7	Слишком плотная переходная направляющая	Поддерживаемая труба не имеет степени свободы движения относительно переходной направляющей и возможный	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 40 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Коррозия болтов или сборок натяжения, удерживающих хомут на месте с) Заводской брак	Проверка с помощью общего анализа при воздействии рабочих параметров потери степени свободы в аксиальном	Увеличение диаметра гнезда поддерживаемой трубы в переходной направляющей

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		чрезмерный изгиб или прогиб трубы между прокладками	(напр., внутренний диаметр гнезда корпуса прокладки слишком маленький) д) Неправильное проектирование (напр., неправильный зазор, допустимый для диапазона диаметров поддерживаемой трубы) е) Неправильная установка (напр., гибкие хомуты или крепежные элементы затянуты слишком плотно)	направлении на расчетные критерии гибкой трубы с) При необходимости, ослабление или замена направляющей на месте. Может быть трудно ослабить/заменить на месте из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов	
15.8	Чрезмерное контактное давление, оказываемое хомутом	Возможная неисправность несущей или поддерживаемой трубы	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 40 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком маленький) с) Неправильная конструкция (слишком большое значение зажима) Неправильная установка (напр. крепления или	Снижение силы зажима на месте, если возможно	а) Снижение значения зажима (будут снижены силы б) зажима) Будет увеличена длина хомута таким образом, что такая сила будет прилагаться по большей области

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			гибкие хомуты затянуты слишком плотно)		
15.9	Чрезмерный изгиб и прогиб поддерживаемой трубы между прокладками	Возможная неисправность поддерживаемой трубы	<p>а) Чрезмерный изгиб переходной системы гибкой трубы</p> <p>б) Заводской брак (напр., переходная направляющая, действующая, как хомут, и наоборот из-за того, что размеры в заводском исполнении не соответствуют допускам)</p> <p>с) Неправильное общее проектирование (напр., неправильное расстояние и распределение между переходными хомутами и направляющими)</p> <p>д) Неправильное проектирование (напр., переходная направляющая, действующая, как хомут, и наоборот из-за неправильного размещения диапазона диаметров</p>	Ослабление, затяжка, увеличение расстояния или замена прокладок на месте, чтобы устранить чрезмерный изгиб. Может быть трудно принять корректирующие меры на месте из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов	<p>а) Снижение провисания поддерживаемой трубы между прокладками</p> <p>б) Увеличение зазора между несущей и поддерживаемой трубами для увеличения радиуса кривизны</p> <p>с) Замена направляющей на хомут или наоборот</p>



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			поддерживаемой трубы в конструкции или недостаточного зазора между несущей и поддерживаемой трубой) Неправильная установка (напр. крепления или гибкие хомуты затянуты слишком плотно)		
15.10	Коррозия хомута сборок натяжения или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции или потеря переходного хомута или направляющей	а) Чрезвычайно коррозионная среда б) Неправильное проектирование (т.е., выбор материала)	а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией б) Улучшение сборок натяжения или крепежных элементов, если возможно	Выбор материалов

### 16.2.7 Нагрузки

Некоторые нагрузки, которые воздействуют на переходную прокладку, показаны на рисунке 16.2. Показанные нагрузки включают расширения/сжатия несущих и поддерживаемых труб, осевую нагрузку, передаваемую переходной прокладке, силу вращения, передаваемую переходной прокладке, и гидростатическое давление. Переходная прокладка должна быть способна выдерживать осевую нагрузку и силы вращения без соскальзывания или вращения.

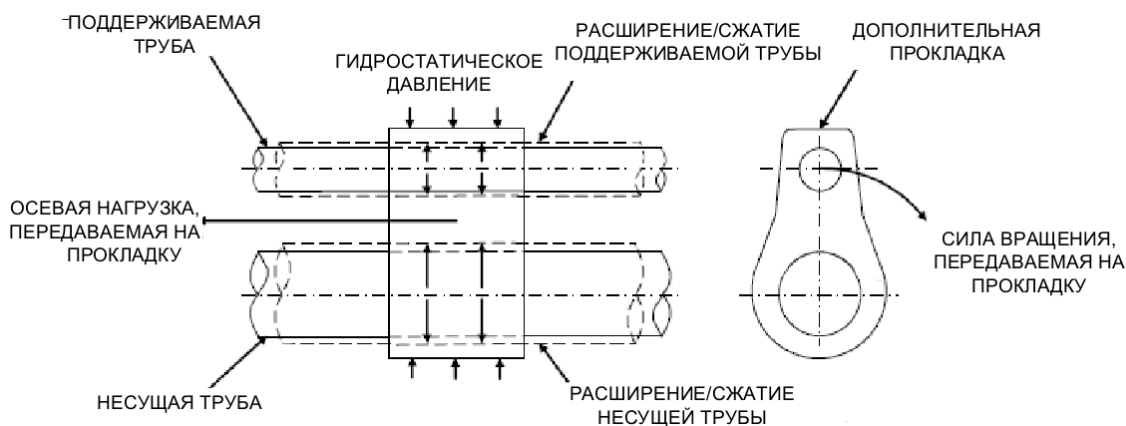


Рисунок 16.2 – Нагрузки переходной прокладки

## 16.3 Материалы

### 16.3.1 Общие сведения

В 16.3 указаны материалы, которые обычно используются в переходных системах, и представлены рабочие характеристики таких материалов.

### 16.3.2 Материалы переходной прокладки

16.3.2.1 Прокладки могут изготавливаться из полиуретана, полихлоропрена, EPDM, полиэтилена, полипропилена и ударопрочного переработанного полиэтилена. Преимуществом данных материалов является прочность и легкий вес, последнее важно, если имеется большое количество прокладок в переходной системе.

16.3.2.2 Полимерные материалы переходной прокладки должны представлять следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды;
- сопротивление гидролизу;

- ограниченное ухудшение в результате старения;
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда несущей или поддерживаемой трубы находится под высокой температурой);
- минимальная масса в воздухе и морской воде (чтобы минимизировать массу груза, для легкой установки, и чтобы помочь минимизировать вес системы гибкой трубы с переходной системой);
- обоснованная механическая прочность, чтобы выдерживать обычные погрузочно-разгрузочные работы во время установки;
- способность выдерживать постоянные нагрузки в течение срока службы, вызванные компрессионной силой зажима и расширением/сужением трубы без отделения хомута или неисправности материала из-за ползучести.

16.3.2.3 Тросы переходных прокладок могут изготавливаться из углеродистой стали, нержавеющей стали, другой коррозионностойкой стали, аустенитных суперсплавов на основе никеля (инконель), полиэстера или арамидного волокнистого композита, в зависимости от ограничений коррозионной устойчивости и массы. Преимуществом арамидного волокнистого композита является легкий вес при высокой прочности.

## **16.4 Вопросы анализа**

### 16.4.1 Общие сведения

Целью 16.4 является предоставление рекомендаций по способам общего анализа переходной системы.

### 16.4.2 Общий анализ

Общий анализ может использоваться для определения оптимального количества переходных хомутов и направляющих и расстояния между ними, а также зазора между несущей и поддерживаемой трубами. Переходные прокладки могут моделироваться исследованием методом конечных элементов соединения узлов на несущей и поддерживаемой трубах в местах, где расположены переходные прокладки. Соединения необходимо моделировать таким образом, чтобы относительное движение между двумя трубами было либо предотвращено, либо предусмотрено, в зависимости от того, моделируется ли переходной хомут или направляющая. Соединения должны

моделироваться, как жесткие соединения, чтобы представить тот факт, что зазор между несущей и поддерживаемой трубами постоянный.

## **16.5 Производство**

### 16.5.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству переходных прокладок. В данном подпункте описываются обычные процессы, выполняемые при производстве переходных прокладок.

### 16.5.2 Процесс производства

16.5.2.1 Переходные прокладки могут обрабатываться или производиться отдельно, путем литьевого формования. Литьевое формование – это эффективный способ производства большого количества прокладок, необходимых для некоторых проектов.

16.5.2.2 Процесс литьевого формования описывается следующим образом: термопластик в виде гранул или порошка поступает из загрузочного бункера в бочку, где он нагревается до размягчения. После он подается через форсунку в относительно холодную форму, которая потом плотно закрывается. После того, как пройдет достаточно времени, чтобы пластик отвердел, форма открывается, изделие извлекается и цикл повторяется.

## **16.6 Испытания опытного образца**

### 16.6.1 Применение испытаний опытного образца

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при требовании осевой и кольцевой силы хомута, в соответствии с 5.6.3:

- осевая сила и сила вращения, вызванные массой несущей и поддерживаемой трубы (включая влияние динамического усиления и вес во время установки);
- материалы;
- процесс(ы) производства<sup>4</sup>
- внешние диаметры несущей и поддерживаемой трубы;
- новая конфигурация переходной прокладки или крепежа.

## 16.6.2 Испытание осевой и кольцевой силы зажима

### 16.6.2.1 Описание

Целью испытания силы зажима является проверка того, что переходная прокладка может сохранять положение при приложенных осевых и кольцевых нагрузках от несущей и поддерживаемой трубы.

### 16.6.2.2 Порядок

16.6.2.2.1 Переходная прокладка должна собираться вокруг образцов несущей и поддерживаемой трубы или должны быть представлены макеты таких труб в натуральную величину. В последнем случае результаты испытания должны корректироваться с учетом разницы трения между макетами и фактическими трубами. Должна быть проверенная методика, указанная в документах, для регулировки калибровки такого трения. Сборка должна включать все компоненты, составляющие переходной хомут/направляющую, гибкие хомуты и сборки натяжения, необходимые для фиксации данных компонентов на месте. Прокладка должна фиксироваться с помощью крепежных элементов с такими же характеристиками и с такой же силой зажима, как было определено на этапе проектирования для работы.

16.6.2.2.2 Переходный хомут/направляющая могут быть рассчитаны на множество возможных комбинаций условий нагрузки. Испытание должно проверить, как минимум, прочность хомута в отношении наиболее критичных сочетаний условий нагрузки. Наихудшее сочетание условий нагрузки может произойти во время установки.

16.6.2.2.3 Для всех условий нагрузки необходимо приложить осевую силу, а силу, при которой происходит соскальзывание хомута, необходимо зарегистрировать или определить.

16.6.2.2.4 Для каждого условия нагрузки окружная сила должна прилагаться на поддерживаемой трубе, чтобы смоделировать максимальную силу вращения по несущей трубе, на которую она будет воздействовать при специальном применении. Сила, при которой происходит соскальзывание, должна быть зарегистрирована и указана в документах.

16.6.2.2.5 Если испытательные осевые и окружные силы не приводят к соскальзыванию хомута, производитель должен иметь действующую методику, указанную в документах, для экстраполяции силы при соскальзывании. Данная методика должна быть удостоверена физическим испытанием.

#### 16.6.2.3 Критерии приемки

Осевая сила, при которой происходит соскальзывание, должна быть больше или равной максимальной осевой силе во время установки или работы, умноженной на коэффициент надежности зажима, который составляет, как минимум 1,5 (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16).

Окружная сила, при которой происходит соскальзывание, должна быть больше или равной максимальной окружной силе во время установки или эксплуатации, умноженной на коэффициент надежности зажима окружности, который составляет, как минимум 1,5 (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16).

### **16.7 Монтаж**

#### 16.7.1 Общие сведения

В 16.7 даны руководства и рекомендации по монтажу переходных систем, включая общие аспекты и пример порядка установки.

#### 16.7.2 Монтаж переходных систем

16.7.2.1 Необходимо четко маркировать целевое положение переходных прокладок на внешней оболочке гибкой трубы.

16.7.2.2 Установка переходных прокладок обычно включает следующие этапы, указанные ниже:

- несущая и поддерживаемая трубы вытравливаются до достижения первой переходной прокладки. Это должно быть указано кольцевой отметкой на обеих трубах.

- прокладка собирается и фиксируется вокруг трубы, либо, в случае конфигурации, показанной на рисунках 5.25 и 5.26, размещается на верхней части несущей трубы, где указывает маркировка;

- несущие трубы крепятся в гнезде на переходной прокладке;

- страховочные крепления, если есть, фиксируются вокруг переходной прокладки

и несущей трубы натяжением креплений;

- после опорная и поддерживаемая трубы вытравливаются до обнаружения положения следующей переходной прокладки.

Важно соблюдать процедуры по затяжке болтов и натяжению гибких хомутов, так как их несоблюдение может привести к слишком свободной или слишком плотной затяжке прокладок. Слишком плотная затяжка может привести к защемлению в аксиальном направлении переходных направляющих, и слишком свободная затяжка может привести к недостаточному зажиму для предотвращения осевого соскальзывания или вращения.

16.7.2.3 Необходимо ввести документы по процедурам, обеспечивающим распределение эффективного натяжения несущей и поддерживаемой трубы в соответствии с эффективными натяжениями, указанными проектировщиком системы гибкой трубы в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

## **16.8 Управление целостностью**

### 16.8.1 Общие сведения

В 16.8 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 16.8.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 13 указаны возможные дефекты переходных прокладок.

### 16.8.3 Методы мониторинга

16.8.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 15.1 - 15.5 и 15.10, описанных в таблице 13.

Если есть круговая и продольная маркировка положений переходных прокладок на гибкой трубе, должно быть очевидно, когда прокладка соскальзывает по оси или окружности в соответствии с дефектом 15.5.

16.8.3.2 Если имеется ослабление поддерживаемой трубы между двумя переходными хомутами, где она должна быть туго натянутой, может произойти дефект 15.6.

16.8.3.3 Дефекты 15.7 и 15.9 могут быть обнаружены, только если имеется повреждение внешней оболочки труб из-за чрезмерного изгиба, или если во время эксплуатации радиус изгиба гибкой трубой можно измерить с помощью оптоволоконного мониторинга, например.

16.8.3.4 Может быть трудно обнаружить дефект 15.8, поскольку переходная прокладка будет закрыта гибкой трубой.

16.8.3.5 Болты, крепящие корпус прокладки на несущей и поддерживаемой трубе, должны осматриваться для оценки коррозии или отсоединения.

## **17 Ремонтные хомуты**

### **17.1 Область применения**

17.1.1 Некоторые рекомендации в пункте 17 даны в виде перекрестной ссылки на пункт 4, который относится к зажимным устройствам вообще.

17.1.2 Рекомендации в пункте 17 относятся к зажимным устройствам, используемым на гибких трубах, и не подходят для зажимных устройств подводных кабелей.

17.1.3 Соответствующие части из некоторых методических рекомендаций повторяются в данном стандарте.

### **17.2 Вопросы проектирования**

#### **17.2.1 16.2.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию ремонтного хомута. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию ремонтного хомута в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Данный подпункт относится к процессу проектирования ремонтного хомута и относительных преимуществ и недостатков определенных конфигураций ремонтного хомута.

#### **17.2.2 Обзор проектирования**

Процесс проектирования ремонтного хомута обычно включает этапы ниже:

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных



в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Руководства по выбору материалов см. в 17.4;

- определяется конфигурация хомута (см. 17.2.3 и 17.2.4);
- проектируется система сброса для сброса газов кольцевого пространства гибкой трубы, при необходимости (см. 17.2.4.4);
- определяются необходимые размеры отверстия ремонтного хомута, чтобы включить внешний диаметр гибкой трубы, включая допуски, или внешний диаметр в заводском исполнении, если есть;
- определяется зажим, необходимый для предотвращения соскальзывания и для соблюдения максимально допустимого контактного давления гибкой трубы, при необходимости;
- определяются силы зажима, чтобы обеспечить необходимый зажим и выдержать любой перепад давления, при необходимости;
- проектируется обвязка, чтобы можно было контролировать антикоррозионную среду в кольцевом пространстве райзера (см. 17.2.4.2);
- проверяются напряжения, прилагаемые к ремонтному хомуту при фиксации, в отношении соблюдения допустимых предельных значений для материала хомута, при необходимости;
- если диапазоны напряжения превышают определенные в документах и проверенные пределы прочности, проводятся расчеты усталостного повреждения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).
- если используется металлический ремонтный хомут, выполняются расчеты системы катодной защиты, чтобы определить необходимые массы анодов для хомута.
- другие характеристики технического ресурса материалов проверяются в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), включая демонстрацию того, что материалы совместимы с используемыми средами кольцевого пространства.

### 17.2.3 Ремонт полимерными заплатками

17.2.3.1 В качестве ремонта с применением полимерных заплаток может быть применена сварка. Сварка при ремонте полимерными заплатками обычно включает установку ремонтного «зажима» с «мокрым» герметиком. Успешный ремонт сварными заплатками может быть чрезвычайно трудным из-за уровней водонасыщения полимера

и трудности успешного высушивания. Ремонт со сваркой полимера также может не сохранить любые последующие нагрузки натяжения из-за обмотки во время снятия и повторной установки. Локальный ремонт со сваркой полимера не рекомендуется в виде единственного барьерного ремонта из-за его слабой надежности.

17.2.3.2 Для ремонта оболочки необходимо использовать двухкомпонентный эпоксидный клей, разработанный для подводного применения. Такой процесс обеспечивает барьерное уплотнение без свойства удержания давления. Основным преимуществом данного метода является то, что при ремонте используется легкий вес, и он обладает (небольшим) влиянием на плавучесть райзера.

Однако методу ремонта с эпоксидным клеем присущи следующие недостатки.

- время отвердевания эпоксидного клея ограничивает подводные процедуры.
- для работы и приготовления эпоксидного клея требуются утвержденные процедуры и обученный персонал.
- требуется подготовка поверхности оболочки, окружающей поврежденную зону, что может быть трудно в зонах сильного повреждения или при большом обрастании.
- качество ремонта не определяется количеством нанесенного материала.
- ремонтные заплатки могут смещаться от воздействий при проверке с помощью ТНПА или при динамическом движении стояка.

Альтернативный способ мокрого ремонта требует установки механического хомута (17.2.4) на поврежденной зоне.

#### 17.2.4 Механические ремонтные хомуты

17.2.4.1 При использовании ремонта с обычными механическими хомутами предлагается более надежное решение, чем с полимерными заплатками. Хомут размещается на месте повреждения, и обычно применяется барьерное уплотнение с одинарной или двойной уплотнительной сборкой. Необходимо оценить способность ремонта хомутами удерживать целостность уплотнения, при последующей обработке кольцевого пространства. Это может привести к ограничениям по типу применяемых способов мониторинга кольцевого пространства в будущем. Размещение хомута должно учитывать сгибание трубы при определении размеров хомута и ограничения по кривизне, налагаемые на гибкую трубу.

17.2.4.2 Традиционные стальные ремонтные хомуты для трубопроводов успешно установлены ТНПА рабочего класса на поврежденных секциях. Такие хомуты могут устанавливаться на трубопроводах, чтобы можно было проводить текущий контроль ингибитора в кольцевом пространстве среды. Такой тип хомутов применяют на оболочках, которые могут выдерживать полное давление.

Недостатки традиционных ремонтных хомутов для трубопроводов:

- большая масса установленного хомута с анодами, что может потребовать отдельной подготовки морского дна для причаливания ТНПА рабочего класса;
- сложность инструментов ТНПА рабочего класса, что требует наличия специально обученной команды ТНПА.

17.2.4.3 Продолжается разработка способа ремонта при удержании давления с использованием существующих легких ремонтных хомутов для труб. Такие компоненты уже классифицированы для использования для большого ряда ремонтных работ с трубами на поверхности и в береговой зоне, и они могут выдерживать внутреннее давление кольцевого пространства.

17.2.4.4 В некоторых случаях ремонтный хомут должен позволять сброс газа, захваченного в кольцевое пространство гибкой трубы, чтобы, таким образом, предотвратить местное превышение давления и разрыв внешней оболочки.

17.2.5 Проектирование установки

Один из способов проектирования ремонтного хомута, показанный на рисунке 17.106, - это хомут из двух частей, который соединяется механически с помощью инструментов. После части хомута можно поступательно стянуть с помощью тангенциальной сборки ходового винта, чтобы обеспечить жесткий зажим на райзере, а также сжать уплотнение из натурального каучука, формируя герметичный периметр вокруг разрыва.

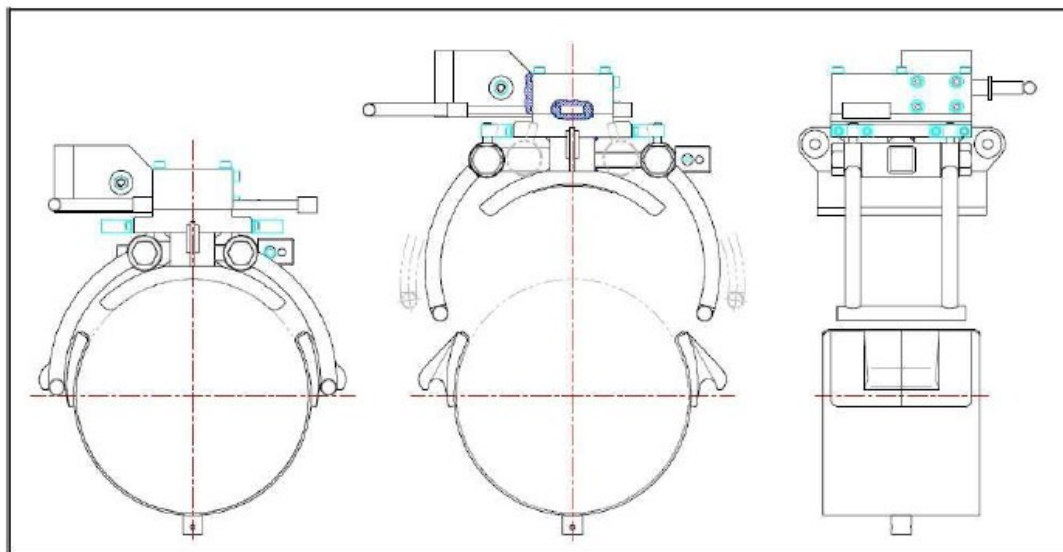


Рисунок 17.1 – Конструкция ремонтного хомута среднего веса

### 17.3 Материалы

#### 17.3.1 Общие сведения

В 17.3 указаны материалы, которые обычно используются в ремонтных хомутах, и представлены рабочие характеристики таких материалов.

#### 17.3.2 Материалы ремонтного хомута

Ремонтные хомуты могут быть сделаны из традиционных материалов, таких как сталь, которые предлагают высокую прочность, но добавляют значительную массу гибкой трубе и требуют коррозионной защиты. Механические уплотнения с ремонтными хомутами могут быть изготовлены из таких материалов, как неопрен или полиуретан. Обычное полиуретановое уплотнение обладает твердостью по Шору 40. Ремонтные хомуты могут быть также изготовлены из армированного стекловолокном композита, что минимизирует добавленную массу на гибкой трубе. Ремонтные хомуты, указанные в 17.2.3.2, не обладают способностью удерживать давление и используют эпоксидный герметик.

### 17.4 Вопросы анализа

#### 17.4.1 Общие сведения

Целью пункта 17.4 является предоставление рекомендаций по способам общего

анализа ремонтных хомутов.

#### 17.4.2 Общий анализ

17.4.2.1 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует определения воздействия ремонтного хомута на систему гибкой трубы, когда воздействие считается значительным. Для этого требуется повторный анализ изначального общего проекта, с дополнением в виде массы ремонтных хомутов и любых локальных изменений гидродинамических свойств.

17.4.2.2 Металлические механические хомуты скорее всего будут влиять на реакцию системы гибкой трубы, в сравнении с легкими композитными ремонтными хомутами. Такой повторный анализ может быть более важным для гибких труб, когда реакции близки к их допустимым пределам в первоначальном проекте.

### 17.5 Установка

#### 17.5.1 Общие сведения

В 17.7 даны руководства и рекомендации по установке ремонтных хомутов, включая общие аспекты и пример порядка установки.

#### 17.5.2 Установка ремонтного хомута

17.5.2.1 Необходимо рассмотреть выполнение установки пробного ремонтного хомута, если операции установки достаточно сложны или если операторы ТНПА не имеют опыта в подобных операциях. Опытная установка должна выполняться для каждого типа ремонтного хомута или для каждой процедуры установки. Испытание установки может выполняться на берегу в резервуаре.

17.5.2.2 Ремонтный хомут может устанавливаться на месте (мокрый ремонт) или после извлечения гибкой трубы (сухой ремонт). Следующие рекомендации относятся к установке гибкой трубы при использовании обоих методов, за исключением отмеченных случаев.

17.5.2.3 Для мокрого ремонта установка ремонтного хомута, как правило, требует участия ТНПА. С внешней оболочки гибкой трубы необходимо удалить все обрастание, и выполнить подготовку всех поверхностей. Обрастание можно удалить струей воды.

17.5.2.4 Если используется герметик, не предназначенный для затвердевания в воде, его необходимо нанести на ремонтный хомут до спуска на воду, или его можно впрыснуть через отверстие в ремонтном хомуте. Данный герметик требует высыхания в течение определенного периода времени.

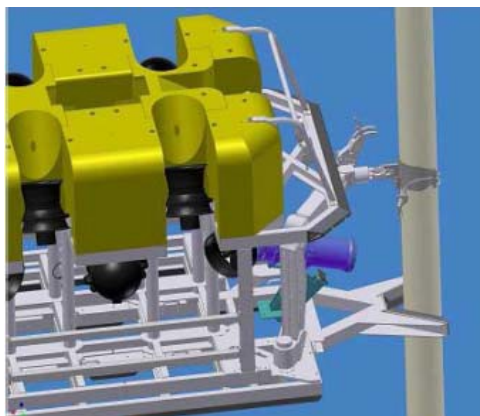
17.5.2.5 Если используется механическое уплотнение, оставшийся этап в установке - это размещение хомута на поврежденной области и фиксация его на месте. В случае с мокрым ремонтом, его обычно проводят с помощью ТНПА.

17.5.2.6 Зоны гибкой трубы, в которых требуется установка ремонтных хомутов, должны быть четко определены до начала установки.

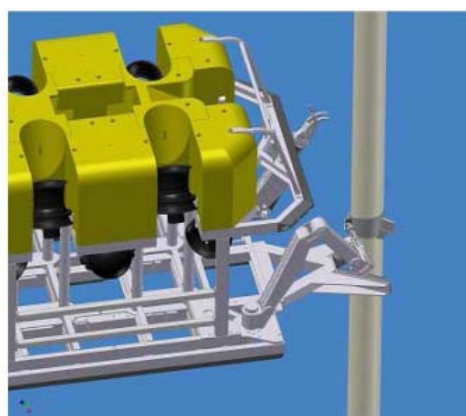
17.5.2.7 Перед выполнением ремонта, из кольцевого отверстия необходимо взять образцы среды, чтобы оценить уровни рН, оксиды железа и т.д., так как такая информация важна для любой последующей оценки гибкой трубы.

17.5.2.8 Чтобы установить ремонтный хомут, ТНПА приближается к зоне ремонта, как показано на рисунке 17.2 а). Резиновый «буферный брус» в форме V-образного паза, как показано на рисунке 17.2 а), может использоваться для контакта с гибкой трубой. Для втягивания хомута на райзер в месте ремонта используется манипулятор. Пружинная жесткость обычного легкого хомута удерживает его на месте и позволяет проводить небольшие корректировки, чтобы обеспечить хорошее покрытие поврежденной зоны.

17.5.2.9 Далее ТНПА позволяет захвату вращаться вокруг диаметра гибкой трубы и захватываться с прорезью буртиком, чтобы было возможно натяжение, как показано на рисунке 17.2 б). После полного натяжения манипулятором поврежденная зона полностью герметизируется. Для помощи в этой части работы может использоваться второй ТНПА.



а) использование ТНПА с гибкой трубой и крепление ремонтного хомута



б) натяжение ремонтного хомута с помощью ТНПА

Рисунок 17.2 – Установка легкого ремонтного хомута

17.5.2.10 В случае так называемых ремонтных хомутов среднего веса, такие, как показанные на рисунке 17.1, гибкая труба захватывается тисками на каждой стороне разрыва. Таким образом можно гидравлически стянуть гнезда верхнего и нижнего хомута, что позволяет задействовать раскос тяг. После задействования гидравлические ходовые винты производят натяжения и герметизацию. При помощи опорного ТНПА, основной ТНПА последовательно отсоединяет инструменты от ремонтного хомута, оставляя готовый ремонтный хомут на райзере.

17.5.2.11 В случае с большой конструкцией хомута, хомут можно устанавливать на установочные инструменты таким образом, чтобы он был ориентирован на гибкую трубу при помощи поручней с резиновой футеровкой, как показано на рисунке 17.3. Затяжные болты, затягиваемые манипулятором, зажимают уплотнение. Затяжные болты соединяются опорным ТНПА и каждый из них затягивается.



Рисунок 17.3 – Установка хомута ремонтного большого

17.5.2.12 Кольцевое пространство должно испытываться под давлением до утвержденных предельных значений, чтобы показать целостность ремонта. Рекомендуется учитывать рекомендации производителя, но, если нет других руководств, испытание выполняется при 150 кПа манометрического давления в кольцевом пространстве трубы.

17.5.2.13 После завершения ремонта необходимо провести испытание отверстия под давлением до 150 % максимально допустимого рабочего давления, чтобы показать целостность трубы.

17.5.2.14 Необходимо проверить область вокруг ремонтного хомута после установки хомута в отношении возможного повреждения в результате процедур установки.

## **17.6 Управление целостностью**

### 17.6.1 Общие сведения

В 17.6 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 17.6.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 14 указаны возможные дефекты для ремонтных хомутов.



Таблица 14 – Возможные дефекты хомута ремонтного

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
16.1	Неисправность хомута	<p>a) Отделение гибкой трубы от хомута и возможная потеря уплотнения</p> <p>b) Дальнейшее повреждение гибкой трубы из-за соскабливания ремонтным хомутом внешней оболочки вдоль</p> <p>c) Возможное повреждение гибкой трубы в результате воздействия острых краев, получившихся при повреждении</p>	<p>a) Чрезмерные расчетные нагрузки (см. таблицу 44 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Удар от падающих объектов или другой подводной конструкции (напр., швартовный конец)</p> <p>c) Усталостная поломка</p> <p>d) Коррозия</p> <p>e) Неисправность сварного соединения</p> <p>f) Заводской брак</p> <p>g) Водородная хрупкость</p> <p>h) Неправильная конструкция</p> <p>i) Неправильная установка (болты затянуты неправильно)</p>	<p>a) Вакуумное испытание целостности уплотнения, чтобы определить, не ухудшилось ли уплотнение</p> <p>b) Замена ремонтного хомута либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы.</p> <p>c) Установка дальнейших ремонтных хомутов для ремонта повреждения гибкой трубы</p>	<p>a) Выбор материалов</p> <p>b) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины хомута</p> <p>c) Замена конфигурации хомута, чтобы изменить распределение нагрузки</p> <p>d) Проектирование сварных соединений</p> <p>e) Проектирование системы катодной защиты</p>
16.2	Отсоединение хомута	<p>Последствия в соответствии с 16.1 b)</p>	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 44 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Коррозия</p> <p>c) Заводской брак</p>	<p>Меры по исправлению в соответствии с 16.1 a) - c)</p>	<p>a) Переоценка сил, которые может выдержать хомут</p> <p>b) Увеличение</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			(напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком большой) d) Ползучесть полимерной внутренней футеровки e) Неправильное проектирование (напр., неправильная величина зажима) f) Неправильная установка (неправильные приложенные силы зажима к хомуту)		зажима или качеств герметика c) Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации, при необходимости
16.3	Неисправность крепежа корпуса хомута	a) Отсоединение хомута и последствия в соответствии с 16.1 b) Возможное отделение хомута от гибкой трубы в соответствии с 16.1 a)	a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 44 ГОСТ Р ИСО 13628-16) b) Усталостная поломка c) Коррозия d) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям) e) Водородная хрупкость	a) Обсуждение с производителем целостности хомута и уплотнения при пропущенных крепежных элементах b) Установка сменных крепежных элементов, если необходимо гарантировать целостность гибкой трубы c) Установка сменного хомута	a) Выбор материалов b) Увеличение размера крепления c) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов в соответствующих случаях d) Проектирование системы

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>f) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)</p> <p>g) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)</p>		катодной защиты
16.4	Чрезмерное контактное давление, оказываемое хомутом	Возможная неисправность гибкой трубы	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 44 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком маленький)</p> <p>c) Неправильная конструкция (слишком большое значение зажима)</p> <p>d) Неправильная установка (напр. крепления затянуты слишком плотно)</p>	Снижение сил затяжки на месте, если возможно	<p>a) Снижение зажима (будут снижены силы зажима)</p> <p>b) Будет увеличена длина хомута таким образом, что такая сила будет прилагаться по большей области</p>
16.5	Неисправность уплотнения	Попадание морской воды в кольцевое пространство гибкой трубы, увеличение скорости коррозии	<p>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 44 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>b) Старение материала полимерного уплотнения из-за морской</p>	Замена ремонтного хомута либо на месте, либо после извлечения гибкой трубы.	<p>a) Выбор материала уплотнения</p> <p>b) Переоценка сил, которые может выдержать</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		и снижение усталостного ресурса гибкой трубы	воды/высокой температуры, приводящее к потере герметичности/водонепроницаемости с) Текучесть материала уплотнения из-за уровней постоянного сжатия и потери давления герметичности d) Неправильная конструкция (напр.недостаточный зажим) e) Неправильная установка (крепления затянуты недостаточно)		хомут с) Усиление зажима d) Предотвращение отсоединения крепежных элементов во время эксплуатации, при необходимости
16.6	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции	а) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания б) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно)	Обращение к отчету по проектированию/производителю по вопросам в отношении области нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона	а) Выбор системы покрытия краской б) Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			с) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)	превышает расчетную	
16.7	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия конструкции	а) Сломан анод(ы) б) Неправильное проектирование системы катодной защиты (напр., неправильные массы анодов)	а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	Проектирование системы катодной защиты
16.8	Коррозия ремонтного хомута или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции	а) Чрезвычайно коррозионная среда б) Неправильная защита системы катодной защиты в) Повреждение системы покрытия краской г) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты).	а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	а) Выбор материалов б) Проектирование системы катодной защиты

### 17.6.3 Методы мониторинга

17.6.3.1 Повреждение гибкой трубы может произойти во время установки хомута. Поэтому необходимо рассмотреть проверку области вокруг ремонтного хомута после установки.

17.6.3.2 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 16.1 - 16.3 и 16.6 - 16.8, описанных в таблице 14. Трудно обнаружить дефект 16.4, поскольку хомут будет закрыт гибкой трубой.

17.6.3.3 Во время общего осмотра необходимо проверить гибкую трубу, чтобы удостовериться, что все ремонтные хомуты находятся в правильном положении на гибкой трубе. Если есть кольцевая маркировка положений ремонтных хомутов на гибкой трубе, должно быть очевидно, когда хомут соскальзывает в соответствии с дефектом 16.2, так как такие маркировки будут видны на одной стороне хомута, и появится существующая поврежденная зона на гибкой трубе.

17.6.3.4 Если наблюдается, что соскользнул ремонтный хомут, необходимо провести общий осмотр длины гибкой трубы, вдоль которой соскользнул хомут, чтобы найти повреждения внешней оболочки гибкой трубы.

17.6.3.5 Неисправность уплотнения в соответствии с дефектом 16.5 может быть не видимой при общем осмотре. В таких случаях неисправность уплотнений можно определить с помощью метода или оборудования, которые могут выявить любые разрывы внешней оболочки гибкой трубы. Примером такого метода является вакуумное испытание, которое подтверждает целостность внешней оболочки, если она может сохранять стабильный вакуум в кольцевом пространстве гибкой трубы. После достижения стабильного вакуума, известный объем азота закачивается в кольцевое пространство до достижения установленного давления. При регистрации такого объема кольцевого пространства, можно выстроить тенденции и определить объем затопления. Необходимо отметить, что положительный результат, т.е. отсутствие разрывов внешней оболочки показывает, что все уплотнения в порядке. Однако отрицательный результат не определяет, где находится разрыв, и может указывать на новую поврежденную область, а не на неисправность уплотнения ремонтного хомута.

## **18 Уплотнения I/J-образных труб**

### **18.1 Область применения**

18.1.1 Раздел 18 относится к уплотнениям I/J-образных труб. Некоторые рекомендации, относящиеся к уплотнениям I/J-образных труб с зажимными устройствами, даны в виде перекрестной ссылки на пункт 5, который относится к общим рекомендациям по зажимному устройству.

18.1.2 Рекомендации из пункта 18 могут применяться для подводных кабелей, кроме рекомендаций, относящихся к расчету силы зажима I/J-образных труб, устанавливаемых без водолазов, из 13.2.2 и 18.2.3 д).

### **18.2 Вопросы проектирования**

#### **18.2.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию уплотнения I/J-образных труб. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию уплотнения I/J-образных труб в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

18.2.2 Обзор проектирования уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемое водолазами

Процесс проектирования уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемое водолазами, представлен на схеме на рисунке 18.1, и обычно включает следующие этапы:

- выбираются материалы на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Руководства по выбору материалов см. в 18.4;
- выполняется ряд статических и динамических анализов, в зависимости от конкретного случая, для гибкой трубы;
- результаты указанных анализов определяют эффективное натяжение гибкой трубы на входе I/J-образной трубы;
- определяется сборка уплотнительного элемента (см. 18.2.5.2 или 18.2.6.1);
- определяются необходимые размеры уплотнительных элементов и других конструкционных компонентов, чтобы обеспечить целостность уплотнения и размерную

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

совместимость с I/J-образной трубой, а также внешним диаметром гибкой трубы или диаметром гибкой трубы в заводском исполнении при необходимости. Геометрические ограничения (например, изгиб I/J-образной трубы) необходимо учесть в проекте уплотнения;

- определяются необходимые силы зажима, чтобы обеспечить целостность уплотнения и предотвратить повреждение компонентов уплотнения I/J-образной трубы в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

- проверяются напряжения, прилагаемые к уплотнению I/J-образной трубы при фиксации и воздействии нагрузок в отношении того, находятся ли они в допустимых пределах для уплотнительного материала I/J-образной трубы. Берется получившаяся сила на гибкой трубе и проверяется, ниже ли она максимально допустимого контактного давления;

- выполняются расчеты системы катодной защиты, чтобы определить необходимую массу анодов;

- проверяются характеристики срока службы материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), включая демонстрацию того, что ползучесть полимерной внутренней футеровки не приведет к осевому соскальзыванию, а ползучесть уплотнительных элементов не ухудшает уплотнение;

- если диапазоны напряжения превышают определенные в документах и проверенные пределы прочности, проводятся расчеты усталостного повреждения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);



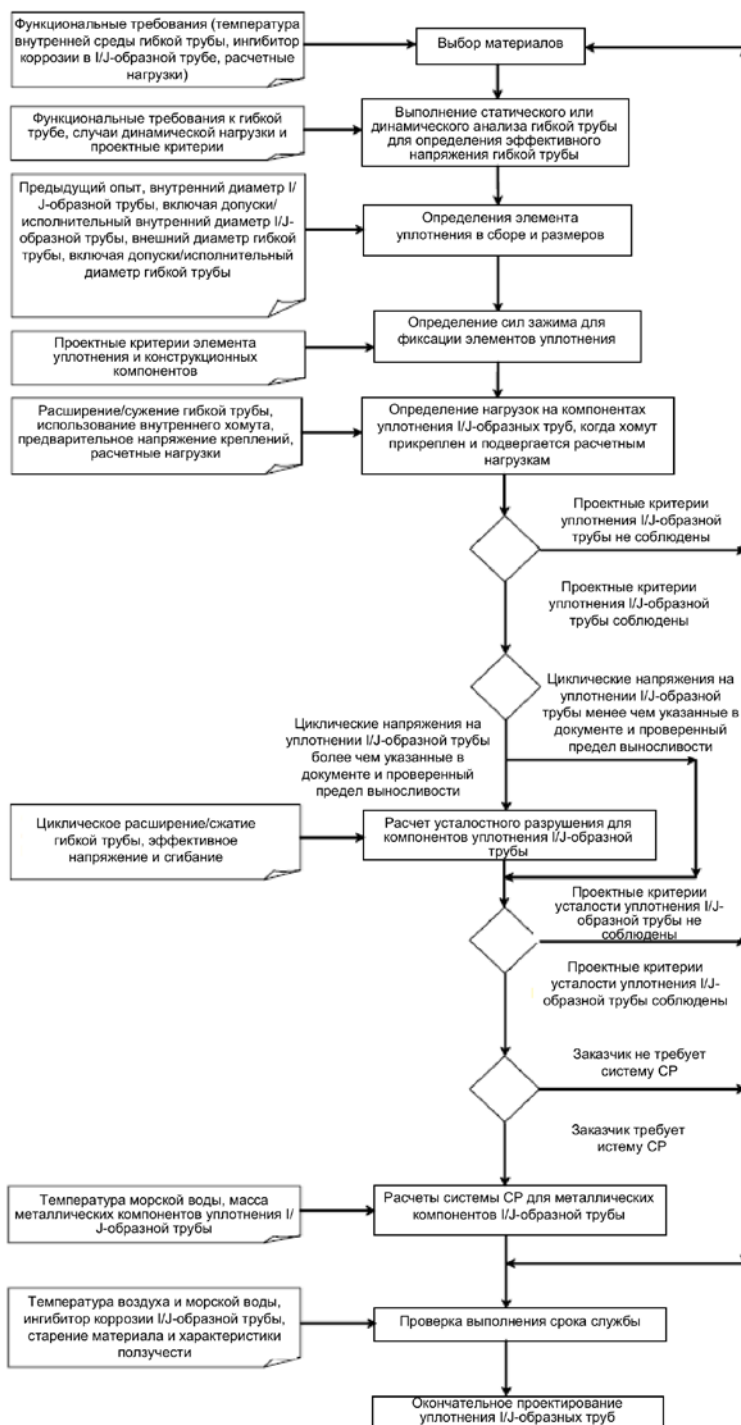


Рисунок 18.1 – Схема проектирования уплотнения I/J-образной трубы, устанавливаемого водолазами

### 18.2.3 Обзор проектирования уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого без водолазов

Процесс проектирования уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого без водолазов, представлен на схеме на рисунке 18.2, и обычно выполняется на следующих этапах, указанных в 18.2.2, и на следующих дополнительных этапах:

- определяется конфигурация хомута I/J-образных труб, включая определение всей формы и внешних размеров хомута;

- определяются необходимые размеры отверстия хомута, чтобы включить внешний диаметр гибкой трубы, включая допуски, или диаметр гибкой трубы в заводском исполнении, если есть;

- определяется необходимость приспособления внутренней футеровки к расширению/сжатию гибкой трубы и включения допусков на внешний диаметр гибкой трубы (см. 13.2.2.4), если проект основывается на расчетном внешнем диаметре;

- определяется необходимый профиль отверстия (профилированный или гладкий) для определенной трубной конструкции, которая будет зажата;

- определяется зажим, необходимый для предотвращения соскальзывания при силе втягивания и для соблюдения максимально допустимого контактного давления гибкой трубы;

- определяются силы, необходимые для обеспечения требуемого значения зажима.

- рассчитываются точки крепления на уплотнении I/J-образной трубы для обеспечения совместимости со средствами соединения подъемного оборудования во время втягивания;

- проверяются характеристики срока службы материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), включая демонстрацию того, что ползучесть полимерной внутренней футеровки не приведет к осевому соскальзыванию.

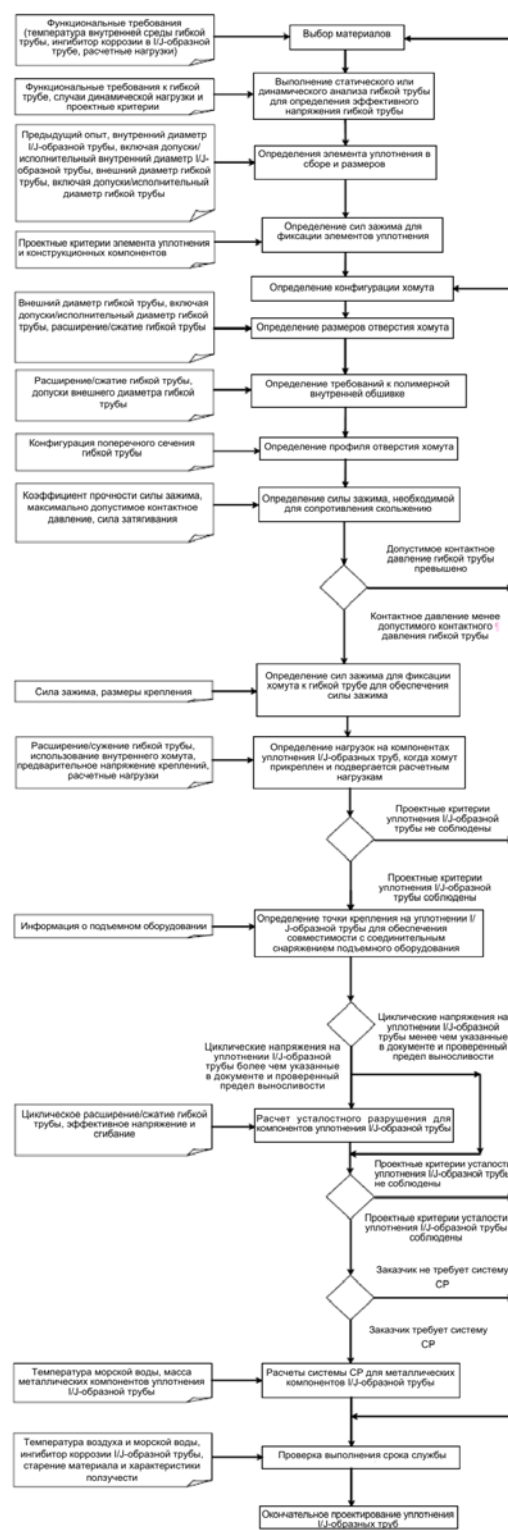


Рисунок 18.2 – Схема проектирования уплотнения I/J-образной трубы, устанавливаемого без водолазов

#### 18.2.4 Проектирование I/J-образной трубы - общие сведения

18.2.4.1 Необходимо учитывать время для проверки имеющихся I/J-образных труб, чтобы получить вышеупомянутые данные, если нет документации с такими данными.

18.2.4.2 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы было указано состояние отверстия I/J-образной трубы. Если I/J-образная труба использовалась в течение нескольких лет, например, в отверстии может быть нарастание, которое затрудняет создание уплотнения. Необходимо иметь данные о состоянии отверстия I/J-образной трубы.

18.2.4.3 Могут потребоваться изменения I/J-образных труб, чтобы создать уплотнение I/J-образных труб, устанавливаемое без водолазов. Например, можно увеличить изогнутые секции I/J-образной трубы, добавив параллельную секцию, что облегчает втягивание уплотнения I/J-образной трубы без водолазов. Внутренние сварные швы могут быть притерты, чтобы улучшить втягивание уплотнения.

18.2.5 Проектирование уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого без водолазов

18.2.5.1 Рекомендации по общему проектированию хомута см. в 13.2.2.

18.2.5.2 Герметизирующая функциональность уплотнений I/J-образных труб, устанавливаемых без водолазов, как правило, обеспечивается использованием большого количества полимерных уплотнительных колец вокруг хомута. Такие уплотнительные кольца, показанные на рисунке 18.3 а), предотвращают попадание морской воды в I/J-образную трубу и выдерживают давление, вызванное средой с ингибитором коррозии. Обычно используется четыре уплотнительных кольца, но необходимо принять решение о подходящем количестве для использования на основании параметров отдельного проекта и опыта, полученного в предыдущих проектах.

18.2.5.3 Уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые без водолазов, обладают уплотнением с тугой посадкой, что показывает, что внешний диаметр

уплотнительных колец до втягивания больше, чем внутренний диаметр I/J-образной трубы. Натяг обычно составляет 2 мм - 4 мм.

18.2.5.4 Носовая часть уплотнения I/J-образных труб обычно профилирована в виде конуса, чтобы облегчить втягивание в I/J-образную трубу, как показано на рисунке 30.

18.2.5.5 Трудно определить в числовом выражении оптимальную конфигурацию уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемых без водолазов, поэтому необходимо проверить силу втягивания с помощью полномасштабного испытания на втяжную нагрузку. Порядок испытания втягивания (см. в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

18.2.6 Проектирование уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого водолазами

18.2.6.1 Уплотнительная функциональность уплотнений I/J-образных труб, устанавливаемых водолазами, обеспечивается полимерными полубечайками или полимерными баллонами с одной продольной прорезью, которая позволяет открывать их, и которые устанавливаются на выходе I/J-образной трубы, как показано на рисунке 18.3 а). В последнем случае материал должен быть достаточно мягким, чтобы водолаз мог вручную открыть оболочку. Такие уплотнительные элементы имеют внутреннее отверстие, в которое входит внешний диаметр гибкой трубы. Их внешний диаметр может быть таким, что они вставляются в отверстие I/J-образной трубы, или он может быть большим, и в таком случае они крепятся на входе I/J-образной трубы.

18.2.6.2 Уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые водолазами, могут быть уплотнением с посадкой с зазором, что показывает, что внешний диаметр уплотнительных элементов до втягивания меньше, чем внутренний диаметр I/J-образной трубы. Зазор обычно составляет 4 мм - 6 мм.

18.2.6.3 Уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые водолазами, необходимо устанавливать с учетом неопределенности ориентации гибкой трубы в отношении отверстия I/J-образной трубы, если она входит в I/J-образную трубу, например, гибкая труба не обязательно может входить в I/J-образную трубу в центре отверстия (см. рисунок 18.3).

#### 18.2.7 Коррозионная защита

Компоненты уплотнения I/J-образных труб, контактирующие с ингибитором коррозии в I/J-образной трубе скорее всего не будут подвержены воздействию коррозии.

#### 18.2.8 Проектирование установки

I/J-образная труба должна проектироваться с минимальным количеством крепежных элементов, необходимых для обеспечения нужного уплотнения и зажима, при необходимости. Таким образом гарантируется, что время сборки, потраченное при установке, будет сведено к минимуму, при сборке уплотнения I/J-образных труб на поверхности без помощи водолазов, а также при сборке уплотнения I/J-образных труб с помощью водолазов под водой.

### **18.3 Материалы**

#### 18.3.1 Общие сведения

В 18.3 указаны материалы, которые обычно используются в уплотнениях I/J-образных труб, и представлены рабочие характеристики таких материалов.

#### 18.3.2 Материалы уплотнения I/J-образных труб

18.3.2.1 Хомуты I/J-образных труб обычно делаются из стали. Элементы уплотнения изготавливаются из полиуретана и полихлоропрена. Более мягкие классы полимерного материала уплотнительных элементов подходят для уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого водолазами. Таким образом обеспечиваются менее строгие требования к затяжке для тщательного сжатия материала, чтобы создать уплотнение. Более твердые классы материала подходят для уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемого без водолазов, если такой материал достаточно жесткий, чтобы выдерживать силы при втягивании уплотнения. Обычные уплотнительные материалы обладают твердостью от 40 по Шору А до 60 по Шору D. Уплотняющий выступ может быть изготовлен из нейлона или стали.

18.3.2.2 Полимерные материалы уплотнительных элементов уплотнения I/J-образных труб должны показывать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды;

- сопротивление гидролизу;
- ограниченное ухудшение из-за старения, с учетом контакта с морской водой и морской водой с ингибитором коррозии;
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда гибкой трубы находится под высокой температурой);
- способность выдерживать нагрузки постоянного сжатия в I/J-образной трубе в течение срока службы без неисправности в результате ползучести или ухудшения уплотнения;
- совместимость уплотнения с внешней оболочкой гибкой трубы.

#### **18.4 Изготовление**

##### 18.4.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) даны требования к производству уплотнения I/J-образных труб. В данном подпункте описываются обычные процессы, выполняемые при производстве уплотнения I/J-образных труб.

##### 18.4.2 Процесс производства

18.4.2.1 Полимерные элементы уплотнения могут изготавливаться путем открытого литья. Данный процесс включает смешивание составных компонентов полимера и заливку смеси в форму при давлении окружающей среды. Открытое литье – это один из наиболее простых и распространенных методов литья для термоотверждаемого полиуретана, и он хорошо подходит для сравнительно небольшого количества частей. В действительности, сама форма может быть сделана из полиуретана.

18.4.2.2 Хомут I/J-образной трубы обычно изготавливается разъемным, из двух или более сегментов (см. рисунок 18.3 в)).

Основные процессы при производстве хомута:

- обработка болтовых отверстий;
- сварка конструктивных элементов друг с другом, при необходимости;
- нанесение коррозионностойких покрытий;
- прикрепление анодов катодной защиты, при необходимости.

## **18.5 Испытания опытного образца**

### 18.5.1 Применение испытаний опытного образца

Необходимо рассмотреть испытания на амортизационный ресурс в соответствии с 5.6.3, если имеется циклическое воздействие значительных температур и изменения температур, а также соответствующее количество циклов внешней оболочки гибкой трубы находится за пределами значений проектной проверки предыдущих испытаний опытного образца.

### 18.5.2 Испытания на амортизационный ресурс

#### 18.5.2.1 Описание

Целью испытания на амортизационный ресурс является проверка того, может ли I/J-образная труба сохранять уплотнение при нагрузках температурных расширений и сжатий, которые будут при работе.

#### 18.5.2.2 Порядок

18.5.2.2.1 Уплотнение I/J-образной трубы должно быть закреплено на участке образца гибкой трубы, по возможности, который представляет свойства фактического участка гибкой трубы. В противном случае, его необходимо зафиксировать на макете гибкой трубы в натуральную величину. Компоненты уплотнения I/J-образной трубы должны собираться и фиксироваться с помощью крепежных элементов с такими же характеристиками и с такой же силой зажима, как было определено на этапе проектирования для работы.

18.5.2.2.2 При испытании необходимо использовать трубу, представляющую размеры I/J-образной трубы для определенного применения. Уплотнения I/J-образной трубы, устанавливаемые водолазами, должны устанавливаться на выходе данной трубы, тогда как уплотнения I/J-образной трубы, устанавливаемые без водолазов, должны протягиваться в трубу. Необходимо определить подходящие размеры трубы для использования при испытании на основании исполнительных данных или расчетных допусков, которые представляют наиболее важные размеры для испытания на



амортизационный ресурс. В трубу постепенно нагнетается давление до рабочего, и такое давление удерживается достаточное для стабилизации время.

18.5.2.2.3 Применяется количество температурных изменений и соответствующее количество циклов, представляющих такие количества для указанного применения, для участка образца гибкой трубы или макета трубы в натуральную величину. В течение времени применения давления и циклических температур, части уплотнения, внешние по отношению к трубе, проверяются на наличие утечки. Давление снижается, прекращается использование источника температуры и уплотнение I/J-образной трубы снимается. Элементы уплотнения необходимо проверить.

#### 18.5.2.3 Критерии приемки

Уплотнение I/J-образной трубы должно выдерживать перепад давления и циклические изменения температуры в определенных применениях, без неустранимой деформации или повреждения. Во время испытаний не должна наблюдаться утечка.

### **18.6 Монтаж уплотнения I/J-образных труб**

#### 18.6.1 Общие сведения

В 18.6 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам, транспортировке и монтажу I/J-образных труб. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и описывают пример порядка установки.

#### 18.6.2 Установка - общие рекомендации

18.6.2.1 Уплотнение I/J-образных труб предусматривается в форме разъёмной сборке, чтобы облегчить крепление вокруг гибкой трубы.

18.6.2.2 Перед присоединением хомутов I/J-образной трубы, поверхность гибкой трубы в месте хомута и внутренняя поверхность хомута должны быть очищены от загрязнений, таких как смазка или масло.

18.6.2.3 Уплотнение I/J-образных труб должно собираться и устанавливаться в соответствии с процедурами по установке. Важно соблюдать процедуры по установке, так как уплотнение может повреждаться при чрезмерной затяжке болтов. Такая

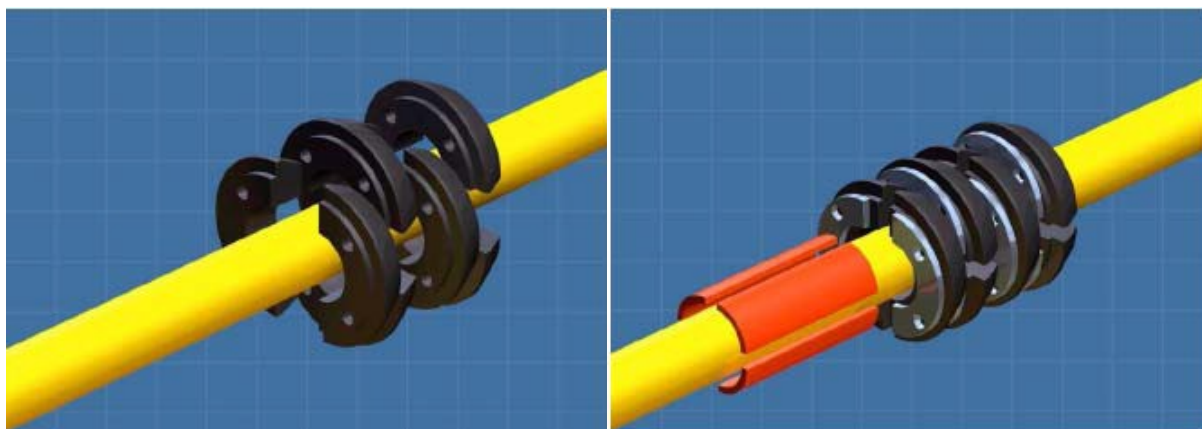
чрезмерная затяжка может также изменить размеры уплотнения и, в свою очередь, повредить уплотнения в I/J-образной трубе.

18.6.2.4 Маркировка размещения уплотнения на гибкой трубе должна быть сделана ранее, во время упаковки.

18.6.3 Установка - Уплотнение I/J-образных труб, устанавливаемое без водолазов

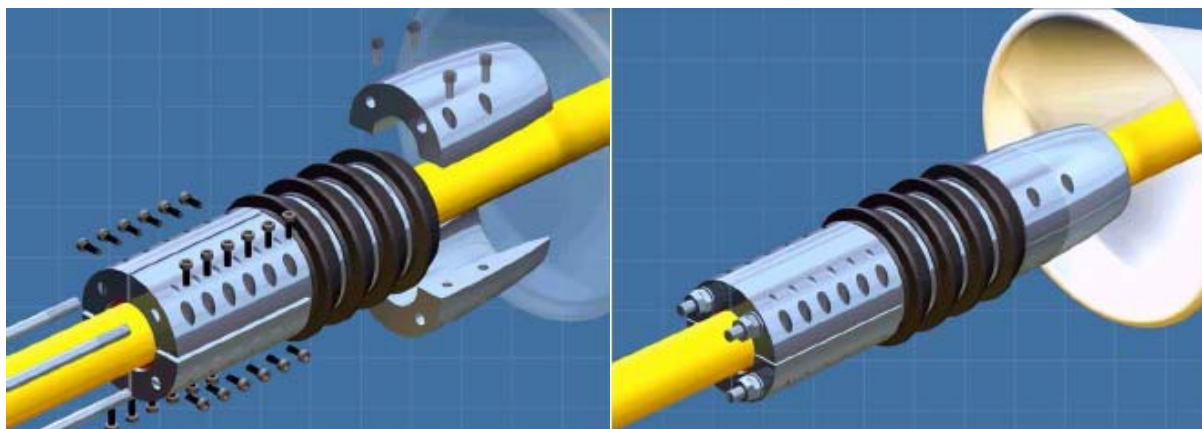
Установка уплотнения I/J-образных труб без водолаза обычно включает следующие этапы:

- сборка уплотнительных элементов вокруг гибкой трубы см. рисунок 18.3 а);



а) сборка уплотнительных элементов

б) сборка внутренней футеровки



в) сборка хомута

г) затяжка болтов

Рисунок 18.3 – Установка I/J-образной трубы без помощи водолазов

- сборка внутренней футеровки см. рисунок 18.3 б);

- сборка хомута вокруг гибкой трубы, прилегающего к уплотнительным элементам см. рисунок 18.3 в);

- затяжка болтов см. рисунок 18.3 г);

- нанесение смазки на сборку, чтобы помочь при втягивании.

Примечание - Наличие смазки может резко снизить необходимую силу затягивания;

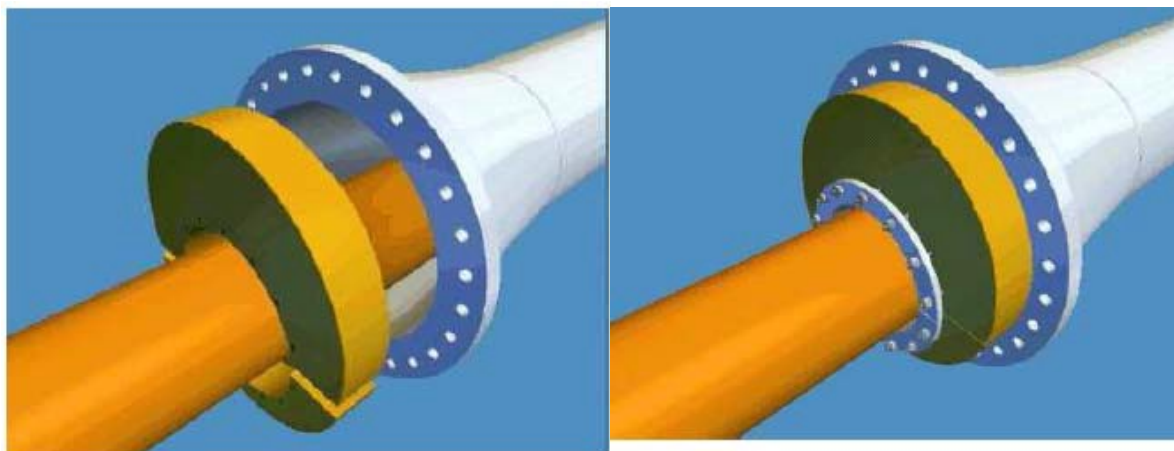
- затягивание гибкой трубы в I/J-образную трубу для создания уплотнения.

#### 18.6.4 Монтаж - уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемые водолазами

Монтаж водолазами уплотнения I/J-образных труб требует, чтобы водолаз вручную устанавливал уплотнения, зафиксировав уплотнительные элементы вокруг гибкой трубы на выходе I/J-образной трубы.

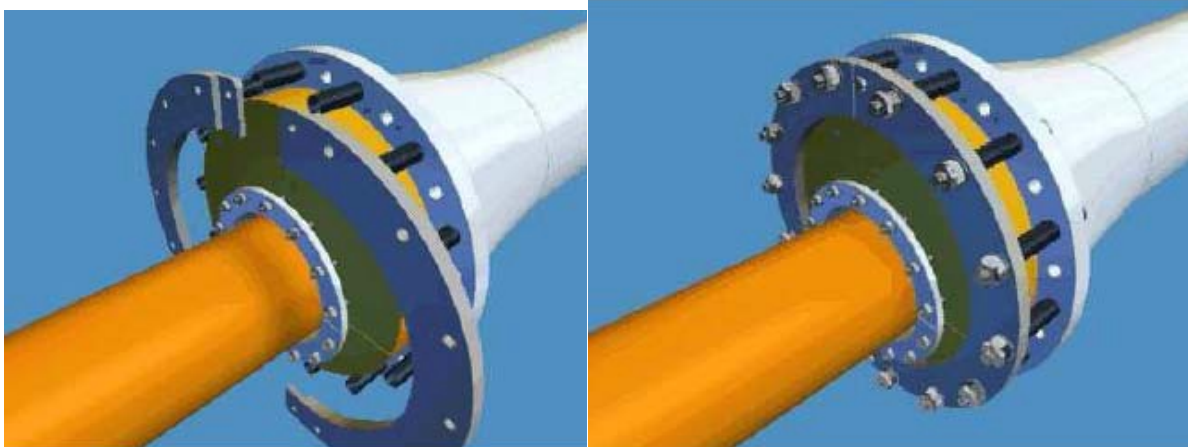
Установка уплотнения I/J-образных труб водолазами обычно включает следующие этапы:

- сборка уплотнительных элементов вокруг гибкой трубы см. рисунок 18.4 а);



а) сборка уплотнительных элементов

б) сборка жестких секций



в) сборка фланцев

г) затяжка болтов

Рисунок 18.4 – Установка I/J-образной трубы с помощью водолазов

- сборка конструктивных элементов, необходимых для соединения I/J-образной трубы, примыкающей к уплотнительным элементам [рисунок 18.4 б) и в);
- затяжка болтов см. рисунок 18.4 г).

## 18.7 Управление целостностью

### 18.7.1 Общие сведения

В 18.7 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 18.7.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 15 указаны возможные дефекты уплотнений I/J-образных труб.

### 18.7.3 Методы мониторинга

18.7.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 17.1 - 17.16, описанных в таблице 15.

Таблица 15 – Возможные дефекты уплотнения I/J-образных труб

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
17.1	Соскальзывание хомута во время втягивания	Невозможно создать уплотнение в I/J-образной трубе без извлечения или замены уплотнения I/J-образной трубы	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная осевая нагрузка из-за втягивания</li> <li>b) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком большой)</li> <li>c) Неправильное проектирование (напр., неправильная величина зажима)</li> <li>d) Неправильная установка (неправильные приложенные силы зажима к хомуту)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Извлечение гибкой трубы и повторная затяжка крепежных элементов хомута</li> <li>b) Извлечение гибкой трубы и установка запасного уплотнения I/J-образной трубы на гибкой трубе, при необходимости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Переоценка сил втягивания, которые может выдержать хомут</li> <li>b) Увеличение сопротивления зажиму (будут увеличены силы зажима)</li> </ul>
17.2	Невозможно втянуть уплотнение I/J-образной трубы	Необходима большая мощность для создания нужной силы втягивания	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Заводской брак (напр., диаметр уплотнительных элементов выше диапазона допуска)</li> <li>b) Неправильная установка (напр., сила втягивания ниже прогнозируемой или необходимый диаметр уплотнительных элементов переоценен)</li> <li>c) Ограничение силы втягивания, которую можно</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Увеличение силы втягивания до предельного значения, указанного производителем</li> <li>b) Извлечение гибкой трубы и установка запасного уплотнения I/J-образной трубы на гибкой трубе, при необходимости</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Изменение размеров элемента уплотнения для обеспечения целостности уплотнения I/J-образной трубы</li> <li>b) Увеличение необходимой силы втягивания</li> </ul>

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			создать		
17.4	Чрезмерное контактное давление, оказываемое хомутом	Возможная неисправность гибкой трубы	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 46 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Заводской брак (напр., внутренний диаметр корпуса хомута слишком маленький)</li> <li>c) Неправильная конструкция (слишком большое значение зажима)</li> <li>d) Неправильная установка (напр. крепления затянуты слишком плотно)</li> </ul>	Снижение сил затяжки на месте, если возможно	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Снижение значения зажима (будут снижены силы зажима)</li> <li>b) Будет увеличена длина хомута таким образом, что такая сила будет прилагаться по большей области</li> </ul>
17.5	Показания катодной защиты отличаются от технических требований (если есть система катодной защиты)	Возможная коррозия металлических компонентов	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Сломан анод(ы)</li> <li>b) Неправильное проектирование системы катодной защиты (напр., неправильные массы анодов)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту</li> <li>b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок</li> </ul>	Проектирование системы катодной защиты
17.6	Коррозия хомута или крепежных элементов.	Возможная неисправность конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезвычайно коррозионная среда</li> <li>b) Неправильная защита системы катодной защиты</li> <li>c) Неправильное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты).	б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	
а Только уплотнения I/J-образных труб, устанавливаемое без водолазов					

18.7.3.2 Дефект 17.1 в таблице 15 можно обнаружить во время установки, поскольку необходимое меньшее усилие затягивания указывает на то, что хомут больше не обеспечивает сопротивления. Также гибкая труба покажет провисание, поскольку теперь она может двигаться по отношению к хомуту.

18.7.3.3 Успешное втягивание уплотнения I/J-образных труб может быть подтверждено заметным увеличением уровня воды на верхней части I/J-образной трубы из-за втягивания уплотнения. Если уровень воды не увеличивается, это может указывать на дефект 17.2. Успешное втягивание также можно проверить с помощью ТНПА на выходе J-образной трубы.

18.7.3.4 Чтобы выявить дефект 17.3, уровень ингибитора коррозии в I/J-образной трубе необходимо контролировать в течение срока службы. Снижение концентрации ингибитора коррозии может указывать на возможное протекание уплотнения.

18.7.3.5 Может быть трудно обнаружить дефект 17.4, поскольку хомут будет закрыт гибкой трубой.

## **19 Втягивающие головки**

### **19.1 Общие сведения**

Втягивающие головки могут использоваться в другом вспомогательном оборудовании, например, в устройствах для передачи нагрузки. Рекомендации по устройствам для передачи нагрузки даны в разделе 22.

### **19.2 Вопросы проектирования**

#### **19.2.1 Обзор проектирования**

Проектирование втяжных головок обычно включает следующие этапы:

- выбирается геометрия, которая обеспечивает точный подбор по соединительной арматуре гибкой трубы. Во втяжной головке могут потребоваться отверстия, для соединения отверстий с соединительной арматурой;

- выполняется анализ прочности втяжной головки (см. 19.3.1);

- выбираются средства соединения с достаточным значением допустимой рабочей нагрузки и совместимые с подъемным оборудованием.



## 19.2.2 Проектирование втяжной головки

19.2.2.1 Если втяжная головка втягивается через I/J-образную трубу, необходимо рассмотреть профиль втяжной головки. Так можно предотвратить обтирание или повреждение основания I/J-образной трубы, когда через нее втягивается головка. Это будет иметь большее значение, если угол втягивания отклоняется от вертикали на несколько градусов. На основании I/J-образной трубы может использоваться раструб или направляющий конус.

19.2.2.2 Может потребоваться втянуть втяжную головку через I/J-образную трубу, как часть процедуры установки для гибкой трубы, как показано на рисунке 19.1. Конструкция втяжной головки должна обеспечивать достаточный зазор между стенками I/J-образной трубы. Полномасштабные испытания интеграции системы элемента жесткости на изгиб/раструба I/J-образной трубы могут также выполняться на берегу, чтобы определить чувствительность к выравниванию и размерные зазоры.



Рисунок 19.1 – Втягивающая головка, втягиваемая через I-образную трубу

## 19.2.3 Коррозионная защита

Коррозионная защита не относится к втяжной головке, если она уже использовалась, и не подвергалась воздействию коррозионных сред в течение достаточного времени. Поскольку конфигурация соединительной арматуры, как правило, отличается для каждой гибкой трубы, втяжная головка может не годиться для повторного использования.

Коррозионную защиту необходимо использовать в следующих случаях:

- когда втяжная головка используется при ликвидационных работах или извлечении, и, следовательно, может быть оставлена под водой на существенный период времени;

- если втяжная головка находится в условиях хранения при которых может подвергаться коррозии.

- если втяжная головка будет использоваться повторно, и, следовательно, обладает более длительным сроком службы.

#### 19.2.4 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 16 указаны возможные дефекты втяжных головок. В таблице 16 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

Таблица 16 – Возможные дефекты головки втяжной

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Проектное решение/изменяемые параметры
18.1	Неисправность втяжной головки	Отделение втяжной головки от соединительной арматуры и падение гибкой трубы на морское дно	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 49 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Коррозия во время хранения в) Неисправность сварного соединения г) Заводской брак д) Неправильная конструкция	а) Выбор материалов б) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение размеров втяжной головки
18.2	Неисправность планки с обухом	Последствия в соответствии с 18.1	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 49 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Коррозия во время хранения в) Неисправность сварного соединения г) Заводской брак д) Неправильное проектирование (напр., значение SWL слишком низкое)	Увеличение значения SWL планки с обухом
18.3	Неисправность крепежных элементов	а) Возможное отделение втяжной головки от гибкой трубы и последствия в соответствии с 18.1 б) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся крепления	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 49 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Коррозия во время хранения в) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям) г) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)	а) Выбор материалов б) Увеличение размера крепления в) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов
18.4	Удаление	Возможная	а) Повреждение во время погрузочно-	Выбор системы

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Проектное решение/изменяемые параметры
	покрытия краской (если есть система покрытия)	коррозия конструкции	разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания b) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно) c) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)	покрытия краской
18.5	Коррозия втяжных головок или элементов крепежа	Возможная неисправность конструкции	a) Чрезвычайно коррозионная среда во время установки или хранения b) Повреждение системы покрытия краской c) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, выбор системы покрытия краской).	a) Выбор материалов b) Выбор системы покрытия краской

#### 19.2.5 Расчет срока службы

Как правило, втяжные головки используются только временно. Если втяжную голову будут использовать повторно, необходимо подтвердить, что она может выдержать ожидаемое количество нагрузок в соответствии с действующим стандартом для подъемного оборудования (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)).

### 19.3 Вопросы анализа

#### 19.3.1 Местный анализ

Необходимо выполнить анализ напряжений для всех компонентов втяжной головки, включая планки с обухом, крепежные элементы и сварные узлы. Втяжная головка может обладать способностью выдерживать растущее давление, поэтому, в таких случаях, анализ напряжений должен учитывать максимальное внутреннее давление в гибкой трубе.

#### 19.3.2 Общий анализ

Необходимо учесть массу втяжной головки для общего анализа, так как ее воздействие на систему гибкой трубы может быть существенным. Соединение между втяжной головкой и гибкой трубой можно моделировать, чтобы втяжной кабель мог вращаться в трехмерном пространстве относительно гибкой трубы.

### 19.4 Управление целостностью

Втяжные головки - это временные компоненты оборудования, и, следовательно, управление целостностью не требуется. Если есть компоненты для повторного использования, их необходимо проверить перед повторным использованием. Типы неисправностей и дефекты втяжных головок представлены в таблице 16.

## 20 Муфты/кабельные чулки

### 20.1 Вопросы проектирования

#### 20.1.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию муфты. Целью пункта 20 является разработка и предоставление руководств по проектированию муфты в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 20.1.2 Обзор проектирования

Проектирование муфты обычно включает следующие этапы:

- определяется подходящая плотность сетки.

Примечание - Как правило, более плотная сетка обеспечивает более сильный захват при определенной длине муфты;

- проектируется геометрия для обеспечения точного подбора по указанному диаметру гибкой трубы.

- отдельные проволоки рассчитаны на прием максимальных натяжений, которым они подвергаются во время установки;

- муфта предназначена для обеспечения совместимости с подъемным оборудованием.

#### 20.1.3 Проектирование

20.1.3.1 Муфту необходимо выбирать с надлежащим учетом материалов гибкой трубы, а выбранная конструкция должна согласована с конструкцией гибкой трубы. У муфт должно быть подходящее покрытие для предотвращения повреждения покрытия трубы при использовании для установки гибкой трубы.

20.1.3.2 Муфты обычно предоставляются в стандартных комплектах с разными размерами, с указанным диапазоном диаметров гибкой трубы и соответствующих разрывных нагрузок.

#### 20.1.4 Типы неисправностей и дефекты

Основная нагрузка, воздействующая на муфту, - эффективное натяжение гибкой трубы. В таблице 17 указаны возможные дефекты муфт и предполагаются подходящие решения/стратегии.

Таблица 17 – Возможные дефекты муфты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Проектное решение/изменяемые параметры
19.1	Повреждение отдельной проволоки, из которой состоит муфта.	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Возможное отделение муфты от гибкой трубы и падение гибкой трубы на морское дно.</li> <li>b) Чрезмерная нагрузка на оставшуюся проволоку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 51 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Коррозия во время хранения</li> <li>c) Заводской брак</li> <li>d) Неправильная конструкция</li> <li>e) Неправильная установка (напр., муфта зашнурована неправильно)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение диаметра проволоки</li> <li>c) Увеличение количества проволоки</li> </ul>
19.2	Потеря захвата	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Изменение конфигурации установки и возможная неисправность гибкой трубы</li> <li>b) Повреждение внешней оболочки гибкой трубы из-за соскальзывания муфты</li> <li>c) Возможное ударное воздействие на муфту со стороны соединительной арматуры, если она далеко соскользнула, и возможная потеря гибкой трубы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 51 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Заводской брак</li> <li>c) Неправильная конструкция</li> <li>d) Неправильная установка (напр., муфта зашнурована неправильно)</li> <li>e) Неправильное обращение (см. 19.5.2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Увеличение плотности сетки</li> <li>b) Увеличение длины муфты</li> </ul>
19.3	Неисправность точки соединения для подъемного оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Последствия в соответствии с 19.1 а)</li> <li>b) Чрезмерная нагрузка на оставшиеся точки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 51 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Коррозия во время хранения</li> <li>c) Заводской брак</li> </ul>	Увеличение значения SWL точки соединения

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Проектное решение/изменяемые параметры
		соединения	d) Неправильное проектирование (напр., значение SWL слишком низкое) e) Неправильная установка (напр., шпильки скобы неправильно закреплены болтами)	
19.4	Коррозия конструкции	Возможная неисправность конструкции	a) Чрезвычайно коррозионная среда b) Неправильное проектирование (напр., выбор материала)	Выбор материалов



## **20.2 Материалы муфты**

Муфты для использования в морских условиях обычно изготавливаются из нержавеющей стали, которая обеспечивает необходимую коррозионную защиту в таких условиях.

## **20.3 Вопросы анализа**

Муфта может быть включена в общий анализ, где анализируется порядок установки гибкой трубы. Как правило, муфта не представляет значительного увеличения локальной массы гибкой трубы, и ее можно моделировать не явно, с помощью элементов, обеспечивающих свободу вращения подъемных кабелей в отношении точек подъема на гибкой трубе.

## **20.4 Испытания опытного образца**

### **20.4.1 Применение испытаний опытного образца**

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при требовании испытания опытного образца, в соответствии с 5.6.3:

- эффективное натяжение гибкой трубы;
- внутренний диаметр гибкой трубы;
- материал внешней оболочки гибкой трубы;
- новая конструкция муфты.

### **20.4.2 Испытание втягивания**

#### **20.4.2.1 Описание**

Целью испытания втягивания является проверка того, что муфта может оставаться надежно закрепленной на гибкой трубе, не повреждая внешнюю оболочку и не соскальзывая при нагрузках затягивания в определенном применении.

#### **20.4.2.2 Порядок**

20.4.2.2.1 Муфта должна быть зашнурована в соответствии с инструкциями производителя вокруг гибкой трубы или на образце гибкой трубы. Сборка должна смачиваться морской водой, чтобы воспроизвести морские условия.

20.4.2.2.2 Оснастка и средства соединения (например, скобы и т.д.) с такими же характеристиками и крепящиеся с такими силами зажима, которые используются для работы, должны крепиться к подъемным линиям муфты.

20.4.2.2.3 Удерживая один конец гибкой трубы, нагрузка прилагается к оснастке муфты, чтобы воспроизвести силу втягивания в работе. Применяется коэффициент прочности 1,5 к максимальной рабочей нагрузке, чтобы получить испытательную нагрузку.

#### 20.4.2.3 Критерии приемки

Муфта не должна двигаться, так как движение указывает на опасность соскальзывания во время работы. Внешняя оболочка гибкой трубы не должна быть повреждена. Необходимо отразить в документации гибкой трубы, что будет являться повреждением для определенной операций с гибкой трубой.

### **20.5 Погрузочно-разгрузочные работы и установка**

#### 20.5.1 Общие сведения

В 20.5 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и установке муфты. Подпункты по установке относятся к общим вопросам.

#### 20.5.2 Погрузочно-разгрузочные работы

20.5.2.1 Необходимо избегать нагрузок, поперечных муфте и поперечных гибкой трубе. Нагрузки должны максимально соответствовать гибкой трубе и муфте, см. рисунок 20.1. Стропы и скобы или аналогичная оснастка должна использоваться между подъемными точками муфты и подъемным кабелем, как показано на рисунке 20.1, чтобы предотвратить возникновение слишком большого угла между точками подъема, как показано на рисунке 20.2.

20.5.2.2 Подъемное оборудование не должно сжимать гибкую трубу, как показано на рисунке 20.3, так как это может повредить трубу.

20.5.2.3 Подъемные линии муфты (кабели между сеткой и подъемными деталями (скобы), как показано на рисунке 20.3) должны соответствовать основному корпусу муфты, когда сборка натянута, или захват муфты на трубе снизится и гибкая труба начнет скользить. На рисунке 20.3 показаны подъемные линии, которые не соответствуют основному корпусу муфты, что показано пунктиром на рисунке.

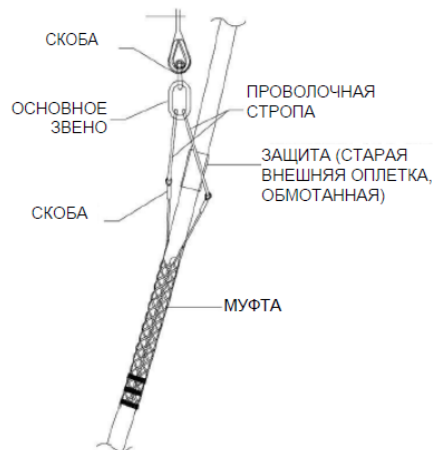


Рисунок 20.1 – Правильное обращение с муфтой типа «Китайский палец»

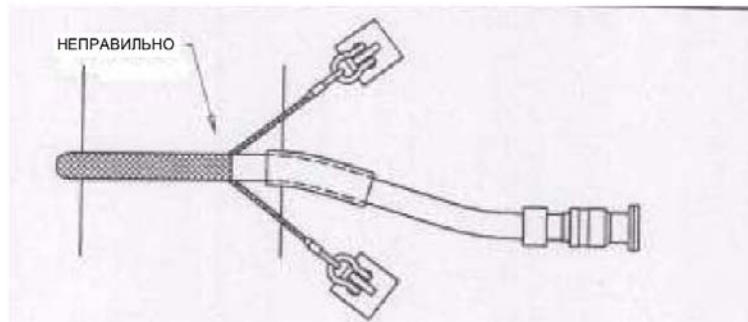


Рисунок 20.2 – Неправильное обращение с муфтой типа «Китайский палец»

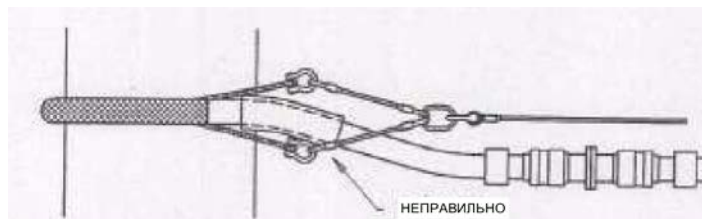


Рисунок 20.3 - Неправильное обращение с муфтой типа «Китайский палец»

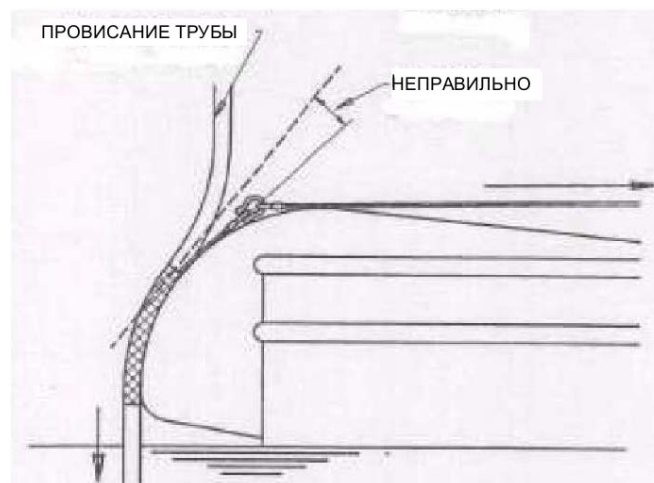


Рисунок 20.4 - Неправильное обращение с муфтой типа «Китайский палец»

### 20.5.3 Монтаж

20.5.3.1 Поскольку муфта может быть установлена в любом количестве мест на гибкой трубе без доступа к соединительной арматуре, может потребоваться откорректировать конфигурацию разъемной сетки, чтобы облегчить установку на трубе. При такой конфигурации муфта разъединяется продольно и после зашнуровывается после установки на гибкой трубе. Шнурование должно выполняться в соответствии с инструкциями на муфту. Длина гибкой трубы, где будет находиться муфта, должна быть очищена от смазки или масла. Любое провисание сетки муфты должно быть сглажено.

20.5.3.2 Место, на котором муфта крепится к гибкой трубе, должно быть четко отмечено на внешней оболочке гибкой трубы.

20.5.3.3 Для внешней оболочки гибкой трубы должна быть предусмотрена защита для предотвращения истирания и ударных нагрузок от скоб и подъемных линий, прикрепленных рядом с муфтой, как показано на рисунке 114. На рисунке показано, что защита - это старая внешняя оболочка гибкой трубы.

20.5.3.4 Необходимо учесть, что муфта остается под водой после установки и может подвергаться коррозии и представлять опасность для ТНПА; необходимо избегать такой ситуации.

## 20.6 Управление целостностью

Муфты - это временные компоненты оборудования, и, следовательно, управление целостностью не требуется. Однако муфты необходимо проверять при повторном использовании в отношении повреждения точек подъема или проволоки, например, разрывов проволоки, и проверять на наличие коррозии. Типы неисправностей и дефекты муфт представлены в таблице 17.

## 21 Соединители

### 21.1 Область применения

Раздел 21 относится к конструкциям, которые используются для передачи нагрузки и выдерживания давления. Рекомендации по конструкциям, которые требуются для передачи нагрузок без выдерживания давления (см. в разделе 22). Некоторые соединители могут включать в свою конструкцию втяжные головки, и, в

таком случае, также необходимо использовать рекомендации раздела 19.

## **21.2 Вопросы проектирования**

### 21.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию соединений. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию соединений в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

### 21.2.2 Обзор проектирования

Проектирование соединения обычно включает следующие этапы:

- выполняется анализ прочности;
- выполняется анализ усталости;
- выбираются защитные покрытия;
- выполняется анализ срока службы уплотнений.

### 21.2.3 Проектирование соединений

21.2.3.1 В данном стандарте не рассматриваются рекомендации по напряжению соединений, требования к изготовлению, испытания и проектирование установки, функциональные требования.

21.2.3.2 Если используются стандартные фланцевые соединения, для определенного размера выбранного фланца будет соответствующий диапазон давлений. Диапазоны давления для стандартизованных фланцевых соединений указаны в ГОСТ Р 51365, ГОСТ 15763.

21.2.3.3 У систем отключения могут быть клапаны аварийного останова на одной или обеих сторонах соединения. Иногда клапаны не нужны.

Следующие аспекты важны для решения того, включать клапаны или нет:

- риск отсоединения;
- транспортируемая среда;
- вопросы окружающей среды;
- верхние клапаны.

### 21.2.4 Проектирование установки

Усталостный ресурс соединения строго зависит от предварительной нагрузки, и поэтому анализ усталости должен определить подходящую предварительную

нагрузку.

### **21.3 Вопросы анализа**

#### 21.3.1 Местный анализ

21.3.1.1 Руководство по местному анализу соединения в отношении расчета прочности расчета усталости и крепежных элементов указаны в ГОСТ ISO 898-1, ГОСТ ISO 898-2, ГОСТ ISO 3506-1, ГОСТ ISO 3506-2.

21.3.1.2 Необходимо моделировать контакт между компонентами в соединении, например, соединительная резьба в резьбовом соединении. Необходимо учесть контактные силы для коэффициентов трения покрытий, которые наносятся на контактные поверхности. Из-за нелинейности контакта необходимо применять анализ метода конечных элементов.

#### 21.3.2 Анализ усталости

Необходимо произвести расчет усталости соединений (методом S-N и методом начального срока службы), а также произвести проверку критериев усталости крепежных элементов.

### **21.4 Производство**

#### 21.4.1 Общие сведения

В 21.4 описываются процессы, выполняемые при производстве соединений фланцевого типа.

#### 21.4.2 Процесс производства - соединения фланцевого типа

В производство соединений фланцевого типа входят следующие процессы:

- обрабатывается требуемый профиль фланца из стальных поковок, обычно с помощью с помощью оборудования с ЧПУ;
- во фланце сверлятся болтовые отверстия с помощью автоматических и радиально-сверлильных станков.
- выполняется исследование методом неразрушающего контроля сварных узлов с помощью магнитопорошкового и ультразвукового способов проверки;
- фланец обычно зачищается, маркируется и красится ингибитором коррозии.

## 21.5 Испытания опытного образца

### 21.5.1 Общие сведения

Рекомендации по испытанию соединений указаны в ГОСТ Р 55430.

### 21.5.2 Применение испытаний опытного образца

Расчетные параметры, которые необходимо рассмотреть, как минимум, при необходимости испытания опытного образца, в соответствии с 5.6.3:

#### а) расчетные нагрузки:

1) внутреннее давление;

2) эффективное напряжение, момент изгиба и силы сдвига, передаваемые гибкой трубой на соединение;

3) усталостные нагрузки, включающие значения эффективного напряжения, момента изгиба и сил сдвига и соответствующее количество циклов для каждого диапазона нагрузок.

#### б) расчетная температура;

#### в) материалы;

#### г) процесс(ы) производства;

#### д) внутренний диаметр гибкой трубы;

#### е) новая конструкция соединения.

## 21.6 Погрузочно-разгрузочные работы и установка

### 21.6.1 Общие сведения

В 21.6 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и установке соединений. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и описывают порядок установки.

### 21.6.2 Погрузочно-разгрузочные работы

Необходимо проявлять осторожность во время погрузочно-разгрузочных работ, чтобы не допустить повреждения защитных покрытий соединения.

### 21.6.3 Установка

#### 21.6.3.1 В данном разделе даны рекомендации по установке соединений.

21.6.3.2 Соединения обычно привариваются к соединительной арматуре до присоединения к гибкой трубе, или могут обрабатываться на корпусе соединительной арматуры.

## **21.7 Управление целостностью**

### 21.7.1 Общие сведения

В 21.7 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 21.7.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 18 указаны возможные дефекты соединений.

### 21.7.3 Методы мониторинга

21.7.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 20.1 - 20.5, описанных в таблице 18.



Таблица 18 – Возможные дефекты соединений

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
20.1	Неисправность соединения	<p>а) Отделение гибкой трубы от платформы и выброс внутренней жидкости в окружающую среду</p> <p>б) Возможное ударное воздействие на другие подводные линии со стороны отделенной гибкой трубы</p>	<p>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 52 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</p> <p>б) Усталостная поломка</p> <p>в) Коррозия</p> <p>д) Неисправность сварного соединения</p> <p>е) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</p> <p>ф) Водородная хрупкость</p> <p>г) Неправильная конструкция</p> <p>h) Неправильная установка (напр., болты на фланце или стыковочная втулка затянуты неправильно)</p>	Нет	<p>а) Выбор материалов</p> <p>б) Увеличение конструкционной прочности, напр., увеличение толщины стенок</p> <p>с) Проектирование сварных соединений</p> <p>д) Проектирование системы катодной защиты</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
20.2	Неисправность крепежных элементов (фланцы и стыковочные втулки)	Последствия в соответствии с 20.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 52 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Усталостная поломка</li> <li>c) Коррозия</li> <li>d) Неисправность сварного соединения</li> <li>e) Заводской брак (напр., термическая обработка не соответствует техническим требованиям)</li> <li>f) Водородная хрупкость</li> <li>g) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений)</li> <li>h) Неправильная установка (напр., болты на фланце или стыковочная втулка затянуты неправильно)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Обсуждение с производителем резервирования элементов конструкции при пропущенных крепежных элементах</li> <li>b) Доводка новых крепежных элементов, если позволяет доступ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение размера крепления</li> <li>c) Увеличение количества и/или распределения крепежных элементов</li> <li>d) Проектирование системы катодной защиты</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
20.3	Течь соединения	Потеря внутренней жидкости	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 52 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Усталостная поломка</li> <li>c) Коррозия</li> <li>d) Неисправность сварного соединения</li> <li>e) Заводской брак</li> <li>f) Водородная хрупкость</li> <li>g) Ползучесть (только</li> <li>h) полимерные уплотнения)</li> <li>i) Неправильное проектирование (напр., выбор материала уплотнений)</li> <li>Неправильная установка (напр., болты на фланце или стыковочная втулка затянуты неправильно)</li> </ul>	Нет	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Конструкция уплотнений</li> </ul>
20.4	Удаление покрытия	Возможная коррозия конструкции	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Повреждение во время погрузочно-</li> </ul>	Обращение к отчету по проектированию/производител	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор системы покрытия краской</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	краской		разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания b) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно) c) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)	ю по вопросам области нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона превышает расчетную	b) Проектирование системы катодной защиты
20.5	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия металлических компонентов дросселя изгиба	a) Сломан анод(ы) b) Неправильное проектирование системы катодной защиты (напр., неправильные массы анодов)	a) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту b) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	Проектирование системы катодной защиты
20.6	Неисправность соединения или крепежных элементов (фланцы и	Возможная неисправность конструкции	a) Чрезвычайно коррозионная среда b) Неправильная защита системы катодной защиты	a) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией b) Установка усовершенствованных анодов	a) Выбор материалов b) Проектирование системы катодной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	стыковочные втулки)		с) Повреждение системы покрытия краской d) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты, выбор системы покрытия краской)	на длительный срок.	с) Выбор системы покрытия краской

21.7.3.2 Дефекты 20.1 и 20.3 в таблице 18 можно обнаружить, если они возникнут. Неисправность или течь соединения будут проявляться при соответствующем снижении внутреннего давления.

21.7.3.3 Может быть трудно оценить соединение, в частности, если оно находится внутри I/J-образной трубы. Необходимо рассмотреть использование видеокамер, чтобы следить за соединениями в таких случаях.

## **22 Устройства для передачи нагрузок**

### **22.1 Область применения**

Следующие пункты относятся к конструкциям, которые используются для передачи нагрузок от гибкой трубы к верхним конструкциям без флюидосодержащего оборудования или оборудования под давлением. Такие конструкции, включая буртики и фланцы передачи нагрузок, могут соединяться с соединительной арматурой гибкой трубы, фланцами основания I/J-образной трубы или конструкциями соединения элемента жесткости на изгиб.

#### **22.1.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию устройства для передачи нагрузок. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию устройства для передачи нагрузок в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### **22.1.2 Обзор проектирования**

Проектирование устройства для передачи нагрузок обычно включает следующие этапы:

- проектирование запорной системы в соответствующих случаях;
- определяются силы зажима для фиксации устройства для передачи нагрузок на месте;
- определяется необходимая нагрузка втягивания для устройства для передачи нагрузок в соответствующих случаях;
- выполняется анализ прочности;
- выполняется анализ усталости;
- если устройство для передачи нагрузки не было надлежащим образом рассмотрено в расчетах системы катодной защиты для прилегающих конструкций,

расчеты системы катодной защиты выполняются для определения необходимых масс анодов для устройства для передачи нагрузки;

- выбираются защитные покрытия.

## **22.2 Вопросы проектирования**

### 22.2.1 Проектирование устройства для передачи нагрузки

22.2.1.1 Важные аспекты проектирования подвесных конструкций райзера описаны в пунктах 22.2.1.2 - 22.2.1.8.

22.2.1.2 Основные ограничения при проектировании устройств для передачи нагрузки - это ограничения нагрузки, ограничения пространства и требования к трубным вставкам.

22.2.1.3 Критические нагрузки для некоторых устройств для передачи нагрузки происходят во время установки, когда может быть значительная нагрузка втягивания (включая воздействие трения).

22.2.1.4 Чрезмерный изгиб стояка на основании I/J-образной трубы предотвращается при использовании ограничителя изгиба (элемента жесткости на изгиб или раструба).

22.2.1.5 Ограничитель изгиба конструктивно поддерживается I/J-образной трубой и может вызывать значительные нагрузки на I/J-образной трубе, которая должна рассчитываться на все соответствующие нагрузки. Такие нагрузки могут значительно увеличиваться при использовании коротких трубных вставок (например, как между элементом жесткости на изгиб и основанием I/J-образной трубы), и это необходимо учесть при проектировании I/J-образных труб.

22.2.1.6 В некоторых случаях добавляются ингибиторы коррозии в морскую воду внутри I/J-образных труб. Это требует герметизации дна I/J-образной трубы, чтобы предотвратить потерю ингибитора. При необходимости, проект установки стояка и соединительных систем должен учитывать требования к уплотнению I/J-образной трубы.

22.2.1.7 Допускаемая нагрузка в I/J-образной трубе может быть больше, чем на фланце основания I/J-образной трубы. Это происходит из-за того, что в таких местах предусмотрено больше ограничений с помощью элементов жесткости.

22.2.1.8 Устройства для передачи нагрузок и конструкции судна/платформы могут проектирования в соответствии с правилами/требованиями для установок. Они могут включать соответствие с нормами и стандартами или, если судно/платформа проектируется и сертифицируется в соответствии со стандартами органа сертификации, могут применяться нормы такого органа.

22.2.1.9 ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы конструкция устройства для передачи нагрузок обеспечивала размерную совместимость с соединительными компонентами. Однако соединительная арматура может быть подвешена не в том месте, к которому передается движение и сдвиг, пример см. на рисунке 22.1, и в таком случае размерная совместимость с соединительной арматурой не требуется.

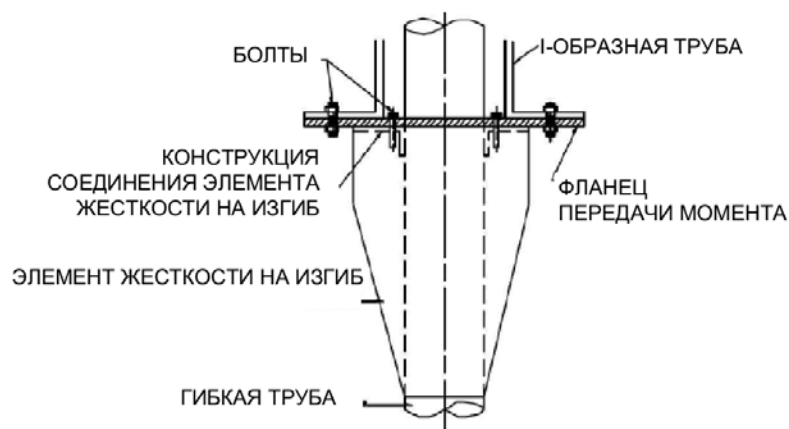


Рисунок 22.1 – Устройство для передачи нагрузок с фланцем передачи момента

22.2.1.10 Конструкция устройства для передачи нагрузок должна позволять выравнивание гибкой трубы во время установки, так, чтобы ее можно было соединить с опорной конструкцией. Необходимо обеспечить вращение гибкой трубы, так, чтобы болтовые отверстия могли выравниваться, если такое вращение и приемлемо. Для выполнения фланца с креплением на болтах на сборной верхней трубной секции, соединительный фланец часто представлен шарнирным фланцем, чтобы избежать скручивания во время установки.

22.2.1.11 Устройство для передачи нагрузок может быть размещено внутри I/J-образной трубы, передавая, таким образом, момент изгиба и силу сдвига на стенки I/J-образной трубы. При проектировании таких устройств важно иметь точную



информацию о размерах и допусках для I/J-образной трубы, чтобы обеспечить точный подбор и предотвратить нежелательную вибрацию и изнашивание при работе.

## 22.2.2 Проектирование установки

22.2.2.1 Установка устройства для передачи нагрузок должна рассматриваться при проектировании. Необходимо рассмотреть риски для монтажного персонала на то время, когда устройство для передачи нагрузок и гибкая труба подвешены с помощью втяжного троса, пока под ними ведутся работы по затяжке болтов, установке разрезных колец и т.д.

22.2.2.2 У устройств для передачи нагрузок должны быть некоторые средства выравнивания во время втягивания, чтобы закрепить в пазах в правильном положении, если на подвесе нет направляющей системы (см. 22.4.1.3). Это важно, если угол втягивания отклоняется от вертикали на несколько градусов. Выравнивания можно достичь с помощью профиля устройства для передачи нагрузок, чтобы можно было проводить втягивания с различными углами смещения. Обычная направляющая система может предусматривать с помощью раструба на основании I/J-образной трубы.

## 22.3 Вопросы анализа - Местный анализ

22.3.1 В данном стандарте не рассматриваются рекомендации по напряжению устройства для передачи нагрузок, требования к изготовлению, испытания и проектирование установки, функциональные требования.

22.3.2 Необходимо моделировать контакт между компонентами в устройстве для передачи нагрузок. Необходимо учесть контактные силы для коэффициентов трения покрытий, которые наносятся на контактные поверхности. Из-за нелинейности контакта необходимо применять анализ методом конечных элементов, чтобы моделировать его.

22.3.3 Если трубное устройство для передачи нагрузок моделируется осесимметрично с помощью метода конечных элементов, геометрические неоднородности по окружности (указывающие на то, что конструкция на самом деле не осесимметричная) могут быть учтены при использовании сниженной жесткости или снижением модуля Юнга в таких зонах.

## 22.4 Монтаж

22.4.1 Монтаж втяжного устройства для передачи нагрузок в I/J-образную трубу без помощи водолазов обычно включает следующие этапы.

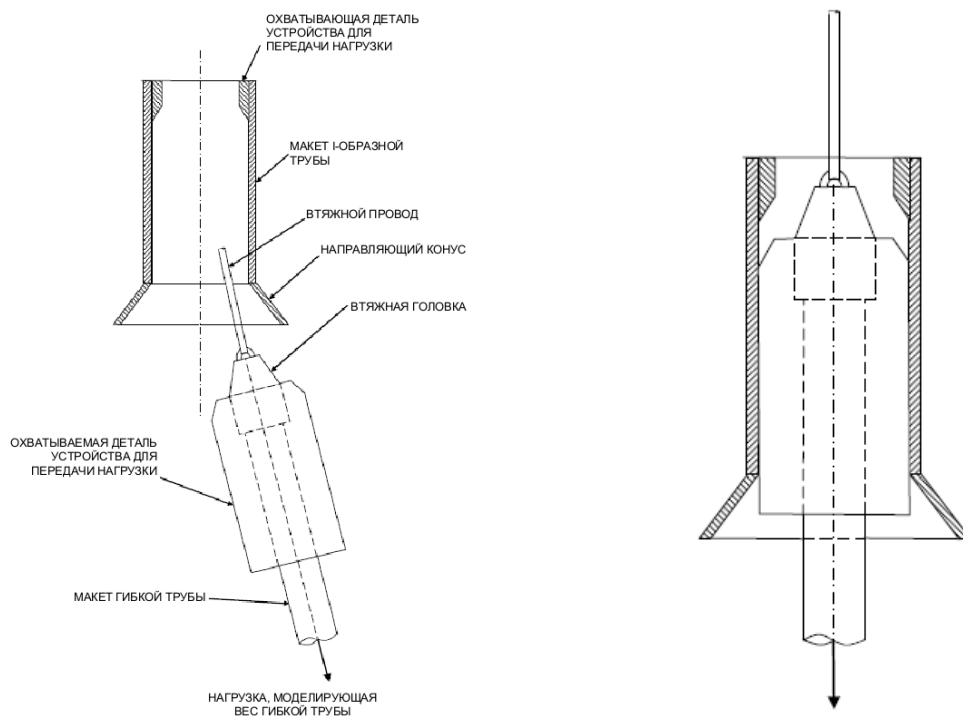
- охватываемая деталь устройства для передачи нагрузок предварительно собирается на гибкой трубе/сборке втяжной головки.

- гибкий райзер вытягивается от морского дна и уравнивается для выравнивания по направляющему конусу, как показано на рисунке 22.2 а). Смазку можно наносить на сборку, чтобы помочь при втягивании.

Примечание - Наличие смазки может снизить необходимую силу затягивания.

- направляющий выступ входит в конус, и райзер проводится через I/J-образную трубу, как показано на рисунке 22.2 б);

- после райзер полностью выравнивается по центру и фиксируется на месте в обхватывающей части сборки.



а) втягивание устройства для передачи нагрузок

б) устройство для передачи нагрузок, частично втянутое в I-образную трубу

Рисунок 22.2 – Втягивание устройства для передачи нагрузок без помощи

## водолазов

22.4.2 Важно соблюдать процедуры установки, так как усталостный ресурс может негативно повлиять, если к крепежным элементам применяется не правильное предварительное натяжение.

22.4.3 Необходимо рассмотреть наличие направляющей трубы или раструба на месте подвеса, чтобы облегчить втягивание устройства для передачи нагрузок. Как вариант, новая построенная I-образная труба могла бы включать переходную часть от вертикали до угла втягивания, чтобы облегчить втягивание.

22.4.4 Порядок втягивания должен учитывать требования к выравниванию отверстий соединительной арматуры с затяжкой отверстий к верхней стороне по возможности. Выбор втяжных проводов должен учитывать максимально эффективные натяжения втягиваемой гибкой трубы.

22.4.5 Необходимо рассмотреть наличие запасных устройств для передачи нагрузок, чтобы уменьшить потери или трудности при установке устройства для передачи нагрузок.

## **22.5 Управление целостностью**

### 22.5.1 Общие сведения

В 22.5 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 22.5.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 19 указаны возможные дефекты устройств для передачи нагрузок.

### 22.5.3 Методы мониторинга

22.5.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 21.1 - 21.2 и 21.6 - 21.8, описанных в таблице 19.

Таблица 19 – Возможные дефекты устройства для передачи нагрузок

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
21.1	Неисправность устройства для передачи нагрузки	а) Передача нагрузок на другие конструкции, которые не рассчитывались на нагрузки б) Возможное повреждение гибкой трубы из-за неисправности	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 53 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Усталостная поломка в) Коррозия г) Неисправность сварного соединения д) Заводской брак е) Водородная хрупкость ж) Ползучесть з) Неправильное проектирование (напр., недооценка напряжений) и) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)	Нет	а) Выбор материалов б) Увеличение конструкционной прочности, напр. увеличение толщины компонентов в) Замена устройства для передачи нагрузок, чтобы изменить распределение нагрузки г) Проектирование сварных соединений д) Проектирование системы катодной защиты
21.2	Неисправность крепежных элементов	Возможные последствия в соответствии с 21.1	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 53 ГОСТ Р ИСО 13628-16) б) Усталостная поломка в) Коррозия	а) Обсуждение с производителем целостности устройства для передачи нагрузок при пропущенных крепежных элементах	а) Выбор материалов б) Увеличение размера крепления в) Увеличение

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			d) Заводской брак e) Водородная хрупкость f) Неправильная конструкция (слишком маленький размер креплений) Неправильная установка (напр. крепления затянуты неправильно)	b) Установка сменных крепежных элементов, если необходимо обеспечить целостность гибкой трубы	количества и/или распределения крепежных элементов Проектирование системы катодной защиты
21.3	Неисправность запорной системы	a) Влияние на график установки b) Возможные требования по запасному устройству для передачи нагрузок	a) Заводской брак b) Водородная хрупкость c) Неправильная конструкция d) Неправильная установка (напр., недостаточная сила втягивания)	Замена устройства для передачи нагрузок на запасное	Расчет запорной системы
21.4	Неисправность втягивания	a) Влияние на график установки b) Возможные требования по запасному устройству для передачи нагрузок	a) Заводской брак b) Водородная хрупкость c) Неправильное проектирование (при необходимом прогнозировании силы втягивания) d) Неправильная установка (напр., недостаточная сила	Увеличить силу втягивания по возможности	Повторная оценка расчетов силы втягивания

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			<p>втягивания):</p> <p>1) недостаточная смазка устройства для передачи нагрузок и направляющего конуса//J-образной трубы</p> <p>2) недостаточное значение силы втягивания втягивание от угла за пределами проектных требований</p>		
21.5	Недостаточная мощность для операций по отключению	Влияние на график проверки	<p>a) Заводской брак</p> <p>b) Неправильная конструкция</p> <p>c) Неправильная мощность для гидравлических систем.</p>	Замена гидравлических компонентов по возможности.	<p>a) Повторная оценка расчетов гидравлического давления</p> <p>b) Увеличение запаса гидравлической системы</p>
21.6	Удаление покрытия краской	Возможная коррозия конструкции	<p>a) Повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки, установки или обслуживания.</p> <p>b) Заводской брак (например, покрытие нанесено неправильно).</p>	Обращение к отчету по проектированию/производителю по вопросам области нарушения покраски, на которую рассчитана система катодной защиты. Установка усовершенствованных анодов, если зона превышает расчетную.	<p>a) Выбор системы покрытия краской</p> <p>b) Проектирование системы катодной защиты</p>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			с) Неправильное проектирование (напр., выбор системы покрытия)		
21.7	Показания катодной защиты отличаются от технических требований	Возможная коррозия металлических компонентов дросселя изгиба	а) Сломан анод(ы) б) Неправильное проектирование системы катодной защиты (напр., неправильные массы анодов)	а) Обсуждение с производителем того, сколько текущая система катодной защиты может обеспечивать защиту б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	Проектирование системы катодной защиты
21.8	Коррозия конструктивных компонентов или элементов крепежа устройства для передачи нагрузок	Возможная неисправность конструкции	а) Чрезвычайно коррозионная среда б) Неправильная защита системы катодной защиты с) Повреждение системы покрытия краской д) Неправильное проектирование (напр., выбор материалов, проектирование системы катодной защиты, выбор системы покрытия краской)	а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией. б) Установка усовершенствованных анодов на длительный срок	а) Выбор материалов б) Проектирование системы катодной защиты с) Выбор системы покрытия

22.5.3.2 Может быть трудно оценить части устройства для передачи нагрузок, в частности, если оно находится внутри I/J-образной трубы. Необходимо рассмотреть использование видеокамер, чтобы следить за передачей нагрузок и в таких случаях.

## **23 Механическая защита**

### **23.1 Область применения**

23.1.1 Раздел 23 относится к двум типам механической защиты: защите от истирания и ударов и полимерному защитному покрытию.

23.1.2 В дополнение к представлению рекомендаций по защите от истирания и ударов, данный пункт может также рассматриваться в случаях, когда защита от изнашивания и ударов также дает постоянный добавленный вес или плавучесть гибкой трубе. Однако рекомендации по дискретному добавленному весу (т.е., модули плавучести) см. в пункте 9.

23.1.3 Рекомендации в данном пункте могут относиться к подводным кабелям. Необходимо отметить, что рекомендации, относящиеся к внутренней среде и температуре внешней оболочки, могут не подходить для подводных кабелей.

### **23.2 Вопросы проектирования**

#### **23.2.1 Общие сведения**

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию механической защиты. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию механической защиты в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### **23.2.2 Обзор проектирования**

Проектирование защиты от истирания и ударов обычно включает этапы ниже:

- выбираются материалы защиты от истирания и ударов на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект). Руководства по выбору материалов см в 23.7;

- при необходимости, выполняется ряд динамических анализов гибкой трубы для определения зон гибкой трубы, которым требуется защита. Руководства по общему анализу см. в 23.4.1№;

- определяется толщина материала, необходимая для сопротивления



ударным нагрузкам и/или истиранию;

- определяется необходимая плотность материала в зависимости от требований;

- определяются отдельные секции защиты от истирания и ударов. У производителя обычно есть набор стандартных секций, обычно от 1 м до 2 м длиной;

- определяется эксплуатационный ресурс материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект);

### 23.2.3 Проектирование защиты от истирания и ударов

23.2.3.1 Целью проектирования защиты от истирания и ударов в отношении ударного воздействия должно быть распределение замедления ударяющегося объекта в течение более длительного времени, следовательно, снижение производимой пиковой силы и, таким образом, уменьшение глубины выбоины.

23.2.3.2 Рекомендуемая минимальная толщина для защиты от истирания и ударов гибкой трубы - 30 мм, однако подходящая толщина зависит от нескольких параметров при определенном применении (см. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект)). Увеличение толщины также снижает воздействие температуры на материал. Это происходит из-за того, что большая толщина усиливает изолирующую способность конструкции, и, таким образом, снижает среднюю температуру по толщине защиты от истирания и ударов.

23.2.3.3 Длина защиты от истирания и ударов, как правило, замыкается с помощью охватываемого и охватывающего соединения. Пример защиты от истирания и ударов показан на рисунке 23.1. Замыкающие охватываемые и охватывающие соединения могут быть гладкими, как показано на рисунке 23.1, или иногда с перекрывающимися зубьями. Конструкция полуобечеек защиты от истирания и ударов должна обеспечивать точный подбор между прилегающими участками и восприятие максимальной ожидаемой кривизны гибкой трубы во время установки или эксплуатации. Конструкция должна также предотвращать попадание посторонних частиц, которые могут повредить гибкую трубу. Полуобечайки могут содержать охватываемые и охватывающие гнезда с постоянными продольными интервалам вдоль кромок (как показано на рисунке 23.1), чтобы обеспечить надлежащее выравнивание и точный подбор.

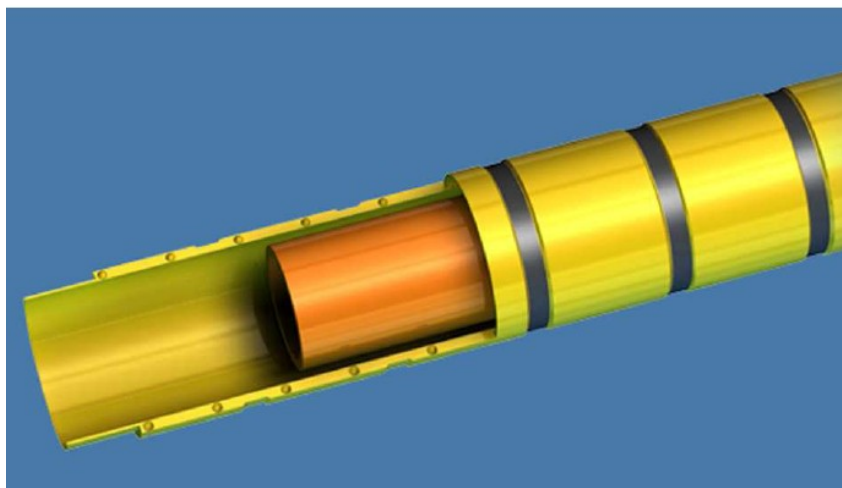


Рисунок 32.1 – Защита от истирания и ударов

23.2.3.4 Иногда на внешней поверхности защиты от истирания и ударов используются гнезда для обвязки, как показано на рисунке 23.1. Это делается для того, чтобы обеспечить гладкий внешний профиль и устранить потребность в измерении промежутков между связками во время установки. Обычное расстояние между связками - 300 мм.

#### 23.2.4 Защита от истирания и ударов - Общее проектирование

Предпочтительно, с точки зрения общего проектирования, минимизировать дополнительный вес из-за обрастания на защите от истирания и ударов. Система гибкой трубы может быть чувствительна к изменениям веса, и, таким образом, необходимо указать сопротивление обрастанию для защиты от истирания и ударов.

#### 23.2.5 Защита от истирания и ударов - Коррозионная защита

Коррозионностойкая обвязка может не требоваться, если защита от истирания и ударов нужна только во время установки. Например, если трубы закапываются после установки, коррозионная устойчивость может не рассматриваться для обвязки.

#### 23.2.6 Проектирование защитного покрытия

Защитное покрытие должно обладать достаточной гибкостью, чтобы подгоняться по профилю защищаемого кабеля или трубы. Обычно это достигается с помощью канавок на одной стороне покрытия.

#### 23.2.7 Типы отказов

Возможные дефекты, которые могут быть у защиты от истирания и ударов и защитного покрытия см. в таблице 22 и 22 (см. 23.7) соответственно. В таблицах 21 и 382

22 также указаны соответствующие проектные решения/стратегии.

#### 23.2.8 Проектирование установки

Защита от истирания и ударов должна проектироваться таким образом, чтобы ее можно было быстро установить, снизив до минимума, таким образом, влияние на график установки.

### 23.3 Материалы

#### 23.3.1 Общие сведения

В пункте 23.3 указаны материалы, которые обычно используются для механической защиты, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.

#### 23.3.2 Материалы защиты от истирания и ударов

23.3.2.1 Защита от истирания и ударов обычно изготавливается из полиуретана, EPDM, смешанного эластомера SBR и полихлоропрена разных классов. Такие материалы предлагают хорошее сопротивление истиранию и ударам и обладают почти нейтральной плавучестью (что не добавляет дополнительного веса системе гибкой трубы под водой). Обычная плотность для таких продуктов –  $1100 \text{ кг/м}^3$ . Классы полиуретана с большой плотностью иногда выбираются, чтобы соответствовать требованиям по постоянному добавленному весу. Обычная плотность таких материалов составляет  $2\ 300 \text{ кг/м}^3$  -  $3\ 000 \text{ кг/м}^3$ . В свою очередь, плавучие классы полиуретана обладают плотностью  $700 \text{ кг/м}^3$  -  $800 \text{ кг/м}^3$ . Там, где требуется очень высокий уровень сопротивления истиранию, для такой цели имеются специальные классы полиуретана. Обычное сопротивление истиранию может быть от  $140 \text{ мм}^3$  потери (истирание при  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ , конус H22) для стандартного изделия до  $40 \text{ мм}^3$  потери для изделия с большим сопротивлением истиранию.

23.3.2.2 Иногда плотность материала не достаточна для соблюдения требований к добавленному весу. В таких случаях, обычно, когда требуются средняя плотность, превышающая  $3\ 000 \text{ кг/м}^3$ , основные вставки закрываются в защите от истирания и ударов.

23.3.2.3 Материалы механической защиты должны демонстрировать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды (только для подводной механической защиты);

- сопротивление гидролизу;
- ограниченное ухудшение в результате старения;
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда гибкой трубы находится под высокой температурой);
- способность воспринимать максимальную кривизну гибкой трубы во время эксплуатации без превышения допустимых напряжений или натяжений.

Обычные пределы прочности на растяжение и удлинение к моменту разрыва составляют 11 МПа - 12 МПа и 200% - 275% соответственно для стандартных изделий и около 26 МПа и 400% - 430% для изделий, устойчивых к истиранию;

- хорошее сопротивление истиранию об определенные поверхности при рабочих температурных условиях;

- хорошее сопротивление истиранию при определенных сценариях воздействия, если и сам материал, и гибкая труба защищены от ударного воздействия;

- плотность, соответствующая требованиям к материалу высокой плотности или плавучих классов.

- хорошие характеристики изоляции и охлаждения, если требуется для термических классов защиты от истирания и ударов.

Обычные значения теплопроводности составляют 0,20 Вт/(м·К) для стандартного изделия и около 0,13 Вт/(м·К) - 0,16 Вт/(м·К) для изделий термического класса.

### 23.3.3 Материалы обвязки

23.3.3.1 Имеется большой ряд материалов обвязки. Имеется металлическая обвязка из титана, инконеля 625 (аустенитный суперсплав на основе никеля), нержавеющей стали различных классов (включая 316 и супер дуплекс) и углеродистой стали. Преимуществом большинства материалов является их сопротивление коррозии и, дополнительно для титана, низкая плотность (около 4 500 кг/м<sup>3</sup>). Однако коррозионностойкая обвязка требуется не всегда (см. 23.2.5).

23.3.3.2 Полимеры (включая полиэстер), также могут использоваться, как материал обвязки, обычно для гибких труб с меньшим диаметром. Это может быть предпочтительно, если желательно минимизировать массу, насколько это возможно.

### 23.3.4 Материалы защитного покрытия

Защитное покрытие обычно производится из полиуретана. Покрытие может быть заполнено материалами высокой плотности, такими как бариты (барий сульфат) для увеличения устойчивости.

## **23.4 Вопросы анализа**

### 23.4.1 Общий анализ

23.4.1.1 Для определения того, какие зоны гибкой трубы требуют защиты от истирания и ударов, может применяться общий анализ. При динамической конфигурации гибкого райзера, гибкая труба периодически контактирует с морским дном на месте соприкосновения. В этой области может потребоваться защита от истирания и ударов. Данное требование должно основываться на задействованной ударной энергии и типе морского дна, например, глина, скалы, песок, кораллы. Ударная энергия зависит от скорости и массы, способствующим удару. Скорость обычно рассчитывается с помощью программного обеспечения анализа конечных элементов для общего анализа райзера.

23.4.1.2 Может применяться общий анализ методом конечных элементов для определения зон гибкой трубы, которые мешают/сталкиваются с другими гибкими трубами или подводными конструкциями, и такие зоны также могли бы быть защищены от истирания и ударов. Имеется некоторая неопределенность в промышленности в отношении расчета сил, вызываемых ударом. Определенные условия вмешательства/столкновения могут быть такими, при которых защиты от истирания и ударов недостаточно для обеспечения защиты от удара/столкновения.

23.4.1.3 Защита от истирания и ударов моделируется в общем анализе методом конечных элементов, путем изменения свойств элементов, представляющих защищаемую гибкую трубу. Защита от истирания и ударов приводит к дополнительной массе и большему диаметру трения на покрытом участке гибкой трубы. Она также приведет к незначительному увеличению жесткости гибкой трубы на изгиб.

### 23.4.2 Местный анализ

Анализ ударного воздействия очень сложный. Поэтому применяется анализ методом конечных элементов, чтобы помочь проанализировать ударное воздействие на защиту от истирания и ударов, которое нелегко проанализировать с помощью других средства, как показано на рисунке 23.2. Одной из причин сложности

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

является количество задействованных параметров, перечисленных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект), а также нелинейных характеристик напряжения/натяжения задействованных полимерных материалов. Типичная модель включает опорное морское дно, защищаемую гибкую трубу, защиту от истирания и ударов и воздействующий объект. Анализ ударного воздействия в высокой степени нелинейный, так как он может включать большие деформации материала. Характеристики жесткости как гибкой трубы, так и морского дна, также необходимо точно моделировать. Модель конечных элементов необходимо проверить с помощью полномасштабного испытания на ударное воздействие из-за большого количества неопределенностей в процессе моделирования (см. 23.5.3).

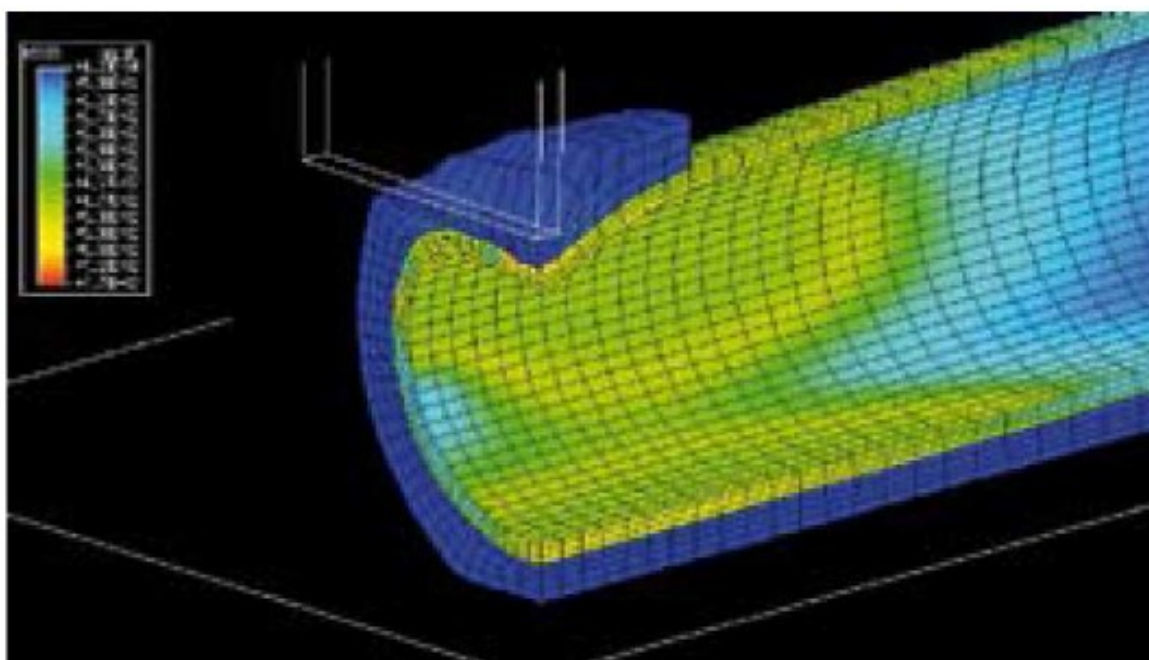


Рисунок 23.2 – Диаграмма моделирования методом конечных элементов защиты от истирания и ударов

## 23.5 Испытания опытного образца

### 23.5.1 Применение испытаний опытного образца

В таблице 20 указаны испытания опытного образца из данного подпункта, которые необходимо рассмотреть для изменений определенной конструкции механической защиты, за пределами ранее одобренных конструкций в соответствии с рекомендациями в 5.6.3.

Таблица 20 – Испытания опытного образца

Изменение конструкции	Учитываемые испытания опытного образца	Комментарий/суждение
Осевая нагрузка (относится только к защите от истирания и ударов)	Испытание на соскальзывание	Нагрузки от собственного веса или нагрузки, прилагаемые натяжными устройствами за пределами ранее проверенных предельных значений
Расчетная температура	Испытание на абразивное истирание	Сопротивление истиранию может значительно изменяться в зависимости от температуры
Материалы и процесс производства		
а) Механическая защита	Испытания на абразивное истирание, испытание на ударную нагрузку	
с) Обвязка	Испытание на ударную нагрузку	Испытательные образцы защиты от истирания и ударов должны включать обвязку, чтобы оценить сопротивление обвязки ударной нагрузке, также, как и материал защиты от истирания и ударов. Если материал обвязки или процесс производства изменяются, сопротивление обвязки ударной нагрузке необходимо испытать снова.
Проектирование поперечного сечения гибкой трубы	Испытание на ударную нагрузку	Может быть трудно определить защиту от ударов для новой конструкции гибкой трубы, отличной от той, для которой проводилось испытание на ударную нагрузку.
Конфигурация морского дна	Испытание на абразивное истирание	Требуется, если условия морского дна более жесткие, чем для предыдущей классифицированной конструкции; например, если существующая классифицированная конструкция предназначена для глинистого морского дна, а новая конструкция для кораллового морского дна.
Новая ударная или контактная поверхность,	Испытания на абразивное истирание,	

Изменение конструкции	Учитываемые испытания опытного образца	Комментарий/суждение
которая представляет более строгие требования к сопротивлению ударному воздействию или истиранию	испытание на ударную нагрузку	
Размеры, скорость и энергия ударяющего объекта	Испытание на ударную нагрузку	

### 23.5.2 Испытание на абразивное истирание

#### 23.5.2.1 Описание

Целью испытания на абразивное истирание является проверка того, может ли механическая защита защитить гибкую трубу от нагрузок истирания при работе в течение указанного срока службы. Истирание обычно происходит из-за морского дна или поверхностей других подводных конструкций, таких как швартовые цепи.

#### 23.5.2.2 Порядок

Испытание на абразивное истирание должно моделировать истирание между материалом и поверхностями, представляющие те, которые будут истираться во время работы. Испытания на абразивное истирание выполнялись между материалом защиты от ударов и истирания и поверхностями от швартовой цепи до кораллов, например. Испытание на абразивное истирание должно включать наличие воды, чтобы моделировать мокрые поверхности. Испытание должно проводиться при температуре, являющейся показательной для работы, так как сопротивление истиранию может значительно различаться в зависимости от температуры. Испытание должно моделировать ожидаемое количество циклов истирания, которым может подвергаться материал в течение указанного срока службы. Это, в частности, важно для динамического применения, включающего защиту от истирания и ударов, где движения гибкой трубы приводят к циклическому истиранию. Испытательные образцы защиты от истирания и ударов должны включать внешнюю обвязку, чтобы оценить ее сопротивление истиранию.

#### 23.5.2.3 Критерии приемки



Защита от истирания и ударов должна выдерживать количество циклов истирания без постоянной деформации или повреждения. Обязка не должна отделяться во время проведения испытания.

### 23.5.3 Испытание на ударную нагрузку

#### 23.5.3.1 Описание

Целью испытания на ударную нагрузку является проверка того, что механическая защита может выдерживать определенную ударную нагрузку и защищать гибкую трубу от любого повреждения. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы были предоставлены критерии гибкой трубы, которые указывают, повреждается ли гибкая труба при ударном воздействии. Критерии приемки гибкой трубы могут основываться на допустимых изменениях (если есть) внешнего диаметра или основываться на допустимой овализации трубы.

#### 23.5.3.2 Порядок

Механическая защита устанавливается вокруг образца гибкой трубы. Защита от истирания и ударов должна собираться при использовании такого же натяжения обвязки, которое было рассчитано на этапе проектирования для работы. Испытание обычно включает падение веса с предварительно определенной высоты на механическую защиту вокруг сборки гибкой трубы. Механическая защита размещается на искусственном морском дне, которое должно точно представлять морское дно при определенных условиях, в частности, его характеристики жесткости. Морское дно поглотит некоторые ударные воздействия в зависимости от своей жесткости. Размеры и вес упавшего объекта и высота, с которой он упал, должны изменяться для моделирования необходимых требований к поглощению энергии. Испытательные образцы защиты от истирания и ударов должны включать обвязку, чтобы оценить сопротивление обвязки ударной нагрузке, также, как и материал защиты от истирания и ударов.

#### 23.5.3.3 Критерии приемки

Уровень повреждения в результате ударного воздействия не должен превышать критерии приемки производителя по ударному воздействию и собственные критерии производителя по приемлемым уровням повреждения материала механической защиты.

#### 23.5.4 Испытание на соскальзывание

##### 23.5.4.1 Описание

Целью испытания на соскальзывание является проверка того, что защита от истирания и ударов не будет соскальзывать при определенных условиях нагрузки. Таким образом, в действительности, проверяется, что сила трения между гибкой трубой и защитой от истирания и ударов, производимая натяжением связи, может выдержать любые прилагаемые осевые нагрузки. Например, испытание может применяться для того, чтобы показать, что защита от истирания и ударов не соскользнет под воздействием своей массы или при нагрузках, прилагаемых устройствами натяжения. Нагрузка должна постепенно прилагаться к защите от истирания и ударов, и регистрируется нагрузка, при которой она начинает соскальзывать. Такая зарегистрированная нагрузка должна быть меньше, чем сила, встречающаяся для применения.

##### 23.5.4.2 Порядок

Защита от истирания и ударов собирается на образце гибкой трубы, если возможно, при таких же натяжениях обвязки, которые были рассчитаны на этапе проектирования для работы. Как вариант, может использоваться макет гибкой трубы в натуральную величину. В последнем случае результаты испытания должны корректироваться с учетом разницы трения между макетом и фактической гибкой трубой. Защита от истирания и ударов и сборка гибкой трубы размещаются на испытательном стенде, чтобы моделировать осевую нагрузку, прилагаемую к защите от истирания и ударов. Нагрузка должна постепенно прилагаться к защите от истирания и ударов, и регистрируется нагрузка, при которой она начинает соскальзывать.

##### 23.5.4.3 Критерии приемки

Нагрузка, при которой защита от истирания и ударов начинает соскальзывать, должна быть меньше силы, встречающейся для применения.

#### **23.6 Погрузочно-разгрузочные работы и установка**

##### 23.6.1 Общие сведения

В 23.6 приведены руководства и рекомендации по погрузочно-разгрузочным работам и установке механической защиты. Подпункты по установке относятся к общим вопросам и описывают пример порядка установки.

#### 23.6.2 Погрузочно-разгрузочные работы

Металлическая обвязка может быть достаточно острой, поэтому во время погрузочно-разгрузочных работ необходимо надевать защитные перчатки.

#### 23.6.3 Установка - Защита от истирания и ударов

23.6.3.1 Установка полуобечеек защиты от истирания и ударов обычно включает следующие этапы:

- две полуобечайки размещаются вокруг гибкой трубы;
- вокруг трубы устанавливается обвязка на указанном расстоянии, на которое могут указывать гнезда для обвязки;
- обвязка натягивается вручную или пневматическим оборудованием.

Поставляются некоторые изделия, такие как предварительно собранные пары полуобечеек с предварительно установленной закрытой обвязкой. В таких случаях установка включает размещение обечайки вокруг трубы и натяжение обвязки.

23.6.3.2 Каждая полуобечайка, как правило, устанавливается с наложением на противоположную полуобечайку на половину длины. Таким образом обеспечивается то, что концы каждой полуобечайки находятся на максимальном друг от друга расстоянии, что, таким образом, обеспечивает более надежную сборку.

23.6.3.3 Установка защита от истирания и ударов со спиральной прорезью обычно включает следующие этапы:

- защита от истирания и ударов открывается на одном конце через спиральную прорезь;
- после этого этот конец вставляется вокруг гибкой трубы;
- защита от истирания и ударов постепенно оборачивается вокруг гибкой трубы.
- обвязка устанавливается в правильном положении и затягивается.

23.6.3.4 Обвязка есть либо с предварительно обрезанными секциями, которые могут сэкономить время на установку, обрезая секции, либо с непрерывными секциями на барабане.

23.6.3.5 Оборудование для натяжения предназначено для правильного и соответствующего натяжения обвязки. Оборудование для натяжения должно проходить обслуживание перед использованием, чтобы избежать каких-либо неисправностей на море. Можно также рассмотреть наличие запасного оборудования для натяжения, в случае вероятной неисправности.

23.6.3.6 Защита от истирания и ударов в виде спирального отрезка должна устанавливаться таким образом, чтобы не оставалось не покрытых зон гибкой трубы (между прилегающими спиралями), когда она полностью установлена.

#### 23.6.4 Установка - Защитное покрытие

23.6.4.1 Защитное покрытие можно установить с помощью ТНПА и, таким образом, подобрать размеры, чтобы воспринять грузоподъемность ТНПА.

Необходимо обеспечить правильное расположение защитного покрытия на гибкой трубе. Должны быть сделаны ссылки на технические чертежи с указанием расположения.

### **23.7 Управление целостностью**

#### 23.7.1 Общие сведения

В пункте 23.7 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

#### 23.7.2 Типы неисправностей и дефекты - Защита от истирания и ударов

Возможные дефекты защиты от истирания и ударов указаны в таблице 21.

#### 23.7.3 Типы неисправностей и дефекты - защитное покрытие

В таблице 22 указаны возможные дефекты защитного покрытия.

Таблица 21 – Возможные дефекты защиты от истирания и ударов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
22.1	Неисправность защиты от истирания и ударов	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Потеря защиты гибкой трубы в зоне неисправности</li> <li>b) Повреждение незащищенной зоны внешней оболочки</li> <li>c) Требование к замене поврежденной секции защиты от истирания и ударов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</li> <li>c) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры</li> <li>d) Неправильное проектирование (напр., неправильная толщина)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Замена неисправной секции на месте. Может быть трудно заменить защиту от ударов на месте из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</li> <li>b) Если в незащищенной зоне наблюдается повреждение гибкой трубы, обсуждение с производителем гибкой трубы целостности гибкой трубы и необходимости ремонта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение толщины защиты от истирания и ударов</li> </ul>
22.2	Неисправность обвязки	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Отсоединение и возможная потеря защиты от истирания и ударов, и последствия в соответствии с 19.1</li> <li>b) Чрезмерная нагрузка на оставшуюся</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Коррозия</li> <li>c) Заводской брак</li> <li>d) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры (только полимерная обвязка)</li> <li>e) Неправильное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Учет воздействия на целостность гибкой трубы на основании области гибкой трубы, которая подвергается воздействию, и места неисправности обвязки</li> <li>b) замена обвязки на месте, если имеется угроза целостности гибкой трубы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение толщины и/или ширины обвязки</li> <li>c) Закрытие обвязки внутри защиты от истирания и ударов</li> </ul>

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
		обвязку	проектирование (напр., неправильная толщина, ширина или выбор материалов)		
22.3	Соскальзывание защиты от истирания и ударов	Потеря защиты в требуемой области и последствия в соответствии с 19.1 б)	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>б) Коррозия обвязки (только металлическая обвязка)</li> <li>в) Заводской брак (напр., внутренний диаметр защиты от истирания и ударов слишком большой)</li> <li>г) Неправильное проектирование (напр., неправильное натяжение обвязки)</li> <li>д) Неправильная установка (напр., неправильное натяжение обвязки)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Если во время установки происходит соскальзывание, может быть невозможно восстановить защиту от истирания и ударов, если она полностью соскользнула с гибкой трубы</li> <li>б) Учет воздействия на целостность гибкой трубы на основании области гибкой трубы, которая подвергается воздействию</li> <li>в) Установка дополнительной защиты от истирания/ударов на области соскальзывания на месте. Может быть трудно установить защиту от истирания и ударов на месте из-за движений гибкой трубы и доступа для водолазов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>а) Увеличение натяжения обвязки</li> <li>б) Повторная оценка сил, которые должна выдерживать обвязка</li> </ul>
22.4	Развитие пропусков, воздействующи	а) Потеря некоторой части защиты	а) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)	Меры по исправлению в соответствии с 22.3	Увеличение натяжения обвязки

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
	х на гибкую трубу	б) Возможность попадания посторонних частиц через пропуски	б) Коррозия обвязки (только металлическая обвязка) с) Неправильное проектирование (напр., неправильное натяжение обвязки) д) Неправильная установка (напр., неправильное натяжение обвязки)		
22.5	Коррозия металлической обвязки	Возможная неисправность, приводящая к отсоединению полубочаек защиты от истирания и ударов	а) Чрезвычайно коррозионная среда б) Неправильное проектирование (напр., выбор материала)	а) Обсуждение с производителем целостности конструкции с коррозией б) Установка улучшенной обвязки, если возможно	Выбор материалов

Таблица 22 – Возможные дефекты защитного покрытия

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
22.6	Неисправность защитного покрытия	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Потеря защиты гибкой трубы в зоне неисправности</li> <li>b) Повреждение незащищенной зоны внешней оболочки гибкой трубы</li> <li>c) Требование заменить поврежденную секцию</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Заводской брак (напр., пустоты в литье)</li> <li>c) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры</li> <li>d) Неправильное проектирование (напр., неправильная толщина)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Замена неисправного покрытия на месте с помощью ТНПА</li> <li>b) Если в незащищенной зоне наблюдается повреждение гибкой трубы, обсуждение с производителем гибкой трубы целостности гибкой трубы и необходимости ремонта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение толщины защитного покрытия</li> </ul>
22.7	Движение защитного покрытия	<p>Последствия в соответствии с 22.4 a) и b)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 55 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Неправильное проектирование (напр., неправильная устойчивость)</li> <li>c) Неправильная установка (покрытие находится в неустойчивом положении, что приводит к движению)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Замена покрытия на покрытие с большей плотностью на месте с помощью ТНПА</li> <li>b) Если в незащищенной зоне наблюдается повреждение, обсуждение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение плотности защитного покрытия путем выбора материала и использования в покрытии материала с высокой плотностью</li> </ul>



Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
				целостности гибкой трубы и необходимости ремонта	

#### 23.7.4 Методы мониторинга - Защита от истирания и ударов

23.7.4.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 22.1 - 22.5, описанных в таблице 21.

23.7.4.2 Во время общего осмотра гибкую трубу необходимо проверить, чтобы убедиться, что защита от истирания и ударов находится в правильном положении на гибкой трубе, и что она не сдвигается от своего положения и не отсоединяется. Если кольцевая маркировка на гибкой трубе для крайних точек длины покрытия защиты от истирания и ударов становится видимой, то защита от истирания и ударов соскальзнула.

23.7.4.3 Всю внешнюю поверхность защиты от истирания и ударов необходимо проверить на наличие повреждений. Необходимо проверить внешнюю обвязку, где позволяет доступ, чтобы оценить есть ли повреждение.

23.7.4.4 Необходимо проверить защиту от истирания и ударов на наличие зон, где гибкая труба обнажается из-за пропусков, которые могут появляться.

#### 23.7.5 Методы мониторинга - Защитное покрытие

Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 22.6 и 22.7, описанных в таблице 22.

## **24 Противопожарная защита**

### **24.1 Область применения**

24.1.1 Раздел 24 относится к материалу противопожарной защиты, который крепится на внешней оболочке гибкой трубы и, таким образом, используется для защиты соединительной арматуры гибкой трубы. Необходимо отметить, что требования к защите обычно более строгие, если противопожарная защита крепится на гибкой трубе из-за передачи нагрузок от гибкой трубы.

24.1.2 Рекомендации в данном пункте могут относиться к подводным кабелям. Однако рекомендации, относящиеся к внутренней среде и температуре внешней оболочки, могут не подходить для подводных кабелей.

### **24.2 Вопросы проектирования**

#### 24.2.1 Общие сведения

В ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) указаны требования к проектированию

противопожарной защиты. Целью данного подпункта является разработка и предоставление руководств по проектированию противопожарной защиты в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 24.2.2 Обзор проектирования

Проектирования противопожарной защиты обычно включает этапы ниже:

- выбираются материалы противопожарной защиты на основании функциональных требований, указанных в ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

Руководства по выбору материалов см в 24.4;

- при необходимости, выполняется ряд статических или динамических анализов гибкой трубы, в зависимости от конкретного случая, для определения нагрузок, передаваемых гибкой трубой противопожарной защите;

- определяется необходимая толщина материала для защиты от пожара и выдерживания взрывных нагрузок при необходимости. ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект) требует, чтобы методика определения необходимой толщины проверялась путем выполнения полномасштабных испытаний опытного образца в соответствии с данным стандартом (см. 24.5). Определение необходимой толщины может включать многочисленные моделирования (см. 24.4.2);

- проверяется, изолирует ли материал противопожарной защиты, если температурные пределы в слоях гибкой трубы превышены (см. 24.2.3.5);

- проверяются напряжения и натяжения из-за нагрузок, передаваемых гибкой трубе, в отношении того, находятся ли они в допустимых пределах для материалов противопожарной защиты;

- демонстрируется эксплуатационный ресурс материалов в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

#### 24.2.3 Проектирование противопожарной защиты

##### 24.2.3.1 Требования к общей пассивной противопожарной защите

рекомендуется смотреть в ГОСТ Р 53295, ГОСТ 57555.

##### 24.2.3.2 Конструкции, которые могут требовать противопожарной защиты,

включают соединительную арматуру, элемент жесткости на изгиб, направляющую трубу и подвесные конструкции. Должна использоваться схема подвесной сборки, показывающая соответствующие положения соединительной арматуры, элемента жесткости на изгиб, гибкой трубы и прилегающих конструкций, для определения

того, какие места подвергаются возможному пожару и требуют противопожарной защиты. При большой струе нижняя соединительная арматура под подвесной конструкцией может остаться незащищенной, а элемент жесткости на изгиб может расплавиться если нет противопожарной защиты. На рисунке 24.1 показан пример такой конфигурации, при которой элемент жесткости на изгиб защищен от огня.

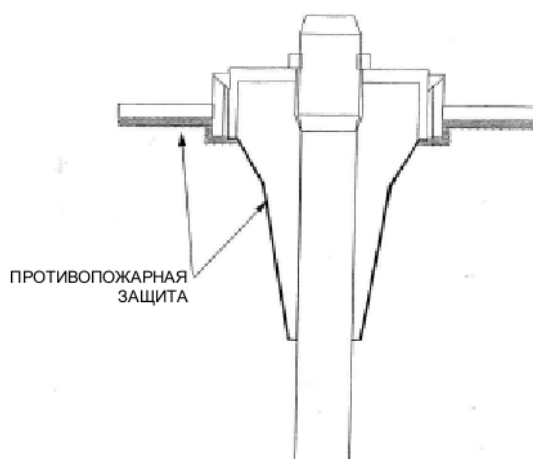


Рисунок 24.1 – Устройство противопожарной защиты для элемента жесткости на изгиб и верхних конструкций

24.2.3.3 Требования к защите обычно более строгие, если противопожарная защита крепится на гибкой трубе из-за передачи нагрузок от гибкой трубы. В случае с гибкими трубами направляющей трубы противопожарная защита может применяться на направляющей трубе, а не на самой трубе.

24.2.3.4 Может потребоваться техническое обслуживание конструкции без повреждений или выполнение функций гибкой трубы под воздействием давления после определенного времени воздействия пожара. Первое требование определено более строго, так как требует обслуживания всех неповрежденных уровней, а не только находящихся под давлением.

24.2.3.5 Верхняя противопожарная защита может ограничивать циркуляцию воздуха вокруг защищаемой конструкции. Это может воздействовать на ограждения противопожарной защиты соединительной арматуры или области, где направляющая труба, содержащая гибкую трубу, имеет противопожарную защиту. Есть два способа избежать этого:

Необходимо гарантировать, что кожух пожарной защиты не изолируют, в

случае если допустимые пределы температуры для слоев гибкой трубы превышаются во время эксплуатации.

Как вариант, должны быть предусмотрены системы охлаждения или достаточная вентиляция для предотвращения аккумуляции тепла выше допустимых уровней.

Если имеется внутренняя среда высокой температуры, может потребоваться оценить эффективность таких методов, выполнив моделирование теплопередачи много раз и проверив теплопередачу через сечение гибкой трубы (см. 24.4.2).

#### 24.2.4 Проектные критерии

24.2.4.1 Пожар ухудшает прочность слоев гибкой трубы, в частности, полимерные слои. Так как гибкая труба в некоторой степени механически нагружена, рабочая прочность может превышать допустимые пределы. Необходимо определить максимальные температуры для каждого слоя на основании максимальных механических нагрузок при работе и ухудшение прочности слоев в зависимости от температуры.

24.2.4.2 Необходимо убедиться, что указанный период времени, в течение которого противопожарная защита соответствует своим функциональным требованиям, достаточный для выполнения действий по ликвидации последствий, например, чтобы труба осталась неповрежденной, или чтобы внутренняя среда не участвовала в пожаре при необходимости. Такие действия по ликвидации последствий включают пожаротушение, снижение внутреннего давления и промывку гибкой трубы морской водой.

### 24.3 Материалы

#### 24.3.1 Общие сведения

В пункте 24.3 указаны материалы, которые обычно используются в противопожарной защите, и представлены общие рабочие характеристики таких материалов.

#### 24.3.2 Материалы для противопожарной защиты

24.3.2.1 Материалы противопожарной защиты крепятся на гибкой трубе, и обычно они выполнены на резиновом основании. Обычная плотность материала составляет около  $1\ 800\ \text{кг/м}^3$ . Также могут добавляться слои полихлоропрена к противопожарному слою для механической защиты.

24.3.2.2 Материалы противопожарной защиты для подвесных конструкций могут быть сделаны из каучука, армированного нержавеющей сталью, стекловолокна или композитного наполнения.

24.3.2.3 Материалы противопожарной защиты должны демонстрировать следующие свойства:

- низкий уровень впитывания воды (противопожарная защита в зоне переменного смачивания);
- сопротивление гидролизу (противопожарная защита в зоне переменного смачивания);
- ограниченное ухудшение эксплуатационных свойств в результате старения;
- хорошие высокотемпературные характеристики (если внутренняя среда гибкой трубы находится под высокой температурой);
- способность воспринимать максимальную кривизну гибкой трубы во время эксплуатации без превышения допустимых напряжений или натяжений.

Примечание - Типичные характеристики прочности - предел прочности на растяжение 2,5 МПа и удлинение к моменту разрыва 90%;

- способность выдерживать циклические нагрузки;
- сопротивление химическим веществами, которые могут контактировать с верхней частью;
- незначительные пропуски при обвязке;
- хорошая огнестойкость;

Примечание - Типичные характеристики огнестойкости включают сопротивление струйному горению до 2 ч.

- хорошее крепление на гибкой трубе, если есть;
- хорошее сопротивление взрыву при необходимости.

Примечание - Типичное сопротивление взрыву - приблизительно 200 кПа.

- хорошая озоностойкость.
- хорошее сопротивление УФ.

## 24.4 Вопросы анализа

### 24.4.1 Общие сведения

Целью пункта 24.4 является предоставление рекомендаций по способам анализа противопожарной защиты.

### 24.4.2 Местный анализ

24.4.2.1 Могут применяться многочисленные виды моделирования пожара для определения температур в гибкой трубе и слоях соединительной арматуры в случае пожара. Такими многочисленными видами моделирования необходимо проверить испытаниями на огнестойкость. Как правило, моделирование требует большого количества вводных данных, в частности, тепловых характеристики слоев гибкой трубы по всему диапазону температур, вызываемых пожаром. Обычным результатом моделирования пожара является температурный профиль слоя гибкой трубы на протяжении пожара. Результат можно использовать для определения того, являются ли температуры в конце этого периода приемлемыми для каждого слоя.

24.4.2.2 Может потребоваться тепловой анализ, чтобы гарантировать, что противопожарная защита не изолирует, при условии, что допустимые температурные пределы для слоев гибкой трубы (включая в соединительной арматуре) не превышены во время работы.

Тепловой анализ обычно требует следующих вводных данных:

- характеристики внутренней среды гибкой трубы при максимальной температуре внутренней среды, включая плотность, теплопроводность и теплоемкость;

- значения теплопроводности и теплоемкости слоев гибкой трубы при температурном профиле, вызываемом в трубе максимальной температурой внутренней среды;

- геометрия гибкой трубы, включая соединительную арматуру и противопожарную защиту.

### 24.4.3 Общий анализ

Общий анализ можно применять для определения максимальных напряжений и натяжений, которым подвергается материал противопожарной защиты из-за изгиба гибкой трубы во время эксплуатации. Чтобы ввести противопожарную защиту в общий анализ гибкой трубы, необходимо знать ее толщину и влияние на жесткость

гибкой трубы.

## 24.5 Испытания опытного образца

### 24.5.1 Применение испытаний опытного образца

24.5.1.1 В таблице 23 указаны испытания опытного образца из данного подпункта, которые необходимо рассмотреть при изменении определенной конструкции, за пределами ранее одобренных конструкций для противопожарной защиты соответствии с рекомендациями в 5.6.3.

24.5.1.2 Устойчивость к разрушению и испытания усталости относятся только к материалу противопожарной защиты, который непосредственно наносится на гибкую трубу.

Т а б л и ц а 23 – Испытания опытного образца

Изменение конструкции	Учитываемые испытания опытного образца	Замечание/суждение
Сила и количество циклов циклического напряжения у материала противопожарной защиты.	Испытание динамической усталости	
Сложность пожара, которую будет выдерживать конструкция, и определенный период времени выдержки пожара	Испытание на огнестойкость	
Нагрузки установки, прилагаемые на покрытие противопожарной защиты устройствами натяжения	Испытание на сопротивление разрушению	
Взрывные нагрузки	Испытание взрывной нагрузки	
Материалы и процесс производства	Испытание динамической усталости, испытание на огнестойкость, испытание на сопротивление	Может быть трудно определить характеристики новых материалов или новые процессы производства другим способом, не проводя такие испытания.



Изменение конструкции	Учитываемые испытания опытного образца	Замечание/суждение
	разрушению, испытание взрывной нагрузки	
Расчет сечения гибкой трубы или соединительной арматуры	Испытание на огнестойкость	Различные конструкции сечения или соединительной арматуры приведут к различной теплопередаче по сечению.

## 24.5.2 Испытание на огнестойкость

### 24.5.2.1 Описание

Целью испытания на огнестойкость является проверка того, что гибкая труба с противопожарной защитой может выдержать определенный тип пожара в течение определенного периода времени без утечки. Типы пожара обычно включают факельное горение, углеводородный пожар и пожары углеводородных запасов. Испытательные стенды факельного горения могут модулировать условия факельного горения до 500 кВт/м<sup>2</sup>.

### 24.5.2.2 Порядок

Обычные периоды времени для испытания могли бы составлять от 15 мин до 1 ч, но это зависит от конкретных условий применения. Используемый образец сечения гибкой трубы и применяемого покрытия должны представлять те, которые будут использоваться в работе.

### 24.5.2.3 Критерии приемки

В дополнение к критериям приемки, данным в ГОСТ Р 53295, температуры и свойства слоев трубы во время испытания, представляющие особую важность для функции выдерживания давления или невредимости трубы, при необходимости, должны соответствовать расчетным критериям из ГОСТ Р ИСО 13628-16 (проект).

## 24.5.3 Испытание на сопротивление разрушению

### 24.5.3.1 Описание

Целью испытания на сопротивление разрушению является демонстрация того, что применяемая противопожарная защита может выдержать прилагаемые силы натяжения и давления, вызываемые устройствами натяжения.

#### 24.5.3.2 Порядок

Считается целесообразным выполнять испытание на сопротивление разрушению противопожарной защиты вместе с испытанием на сопротивление разрушению гибкой трубы. В дополнение слой противопожарной защиты необходимо проверить после испытания.

#### 24.5.3.3 Критерии приемки

Не должно быть неустранимой деформации или повреждения материала противопожарной защиты после испытания, снижающих противопожарные характеристики, что покажут трещины или неустранимые вмятины. Чтобы это проверить рекомендуется проводить испытание на огнестойкость после испытания на разрушение с тем же самым испытательным образцом. В документах должны быть указаны критерии приемки для материала противопожарной защиты для данного испытания.

#### 24.5.4 Испытание динамической усталости

##### 24.5.4.1 Описание

Целью испытания динамической усталости является демонстрация того, что применяемая противопожарная защита может выдержать циклический изгиб и эффективное натяжение гибкой трубы. Испытание специально проводится в отношении проверки характеристик усталости гибкой трубы, т.е. могут изменяться количество блоков и испытание циклов, чтобы получить теоретическое повреждение 1,0 в гибкой трубе, но это не является необходимым для материала противопожарной защиты. Получение теоретического повреждения 1,0 в материале противопожарной защиты может потребовать намного больше циклов, чем есть на практике (см. 23.5.4.3). Таким образом, может быть, что рабочие характеристики, указанные в документах для таких же конструкций противопожарной защиты, - это единственный способ установить долгосрочный усталостный ресурс материала.

##### 24.5.4.2 Порядок

Считается целесообразным выполнять анализ динамической усталости противопожарной защиты вместе с испытанием динамической усталости гибкой трубы. В дополнение слой противопожарной защиты необходимо проверить после испытания.

#### 24.5.4.3 Критерии приемки

Не должно быть неустраняемой деформации или повреждения материала противопожарной защиты после испытания, снижающих противопожарные характеристики, что покажут трещины материала, которые появились во время испытания. Чтобы это проверить рекомендуется проводить испытание на огнестойкость после испытания усталости с тем же самым испытательным образцом. Должны быть указаны критерии приемки для материала противопожарной защиты для данного испытания.

После проверки материала противопожарной защиты, испытание на усталость необходимо продолжить за пределами указанного количества циклов, пока не произойдет поломка материала противопожарной защиты, чтобы определить вероятность возникновения повреждения. Однако, достижение количества циклов, вызывающих такую неисправность, может быть не целесообразным. Если материал противопожарной защиты проектировался с использованием расчетов усталостного повреждения, такую вероятность возникновения повреждения можно сравнить с прогнозируемой на этапе проектирования.

#### 24.5.5 Испытание взрывной нагрузки

##### 24.5.5.1 Описание

Целью испытания взрывной нагрузки является демонстрация того, что применяемая противопожарная защита может выдержать ударную нагрузку от взрыва.

##### 24.5.5.2 Порядок

Испытания взрывной нагрузки обычно включают заключение компонентов системы гибкой трубы во взрывной модуль и выполнение взрыва. Обычно измеряется взрывное давление и продолжительность импульсов давления.

##### 24.5.5.3 Критерии приемки

Не должно быть не исправляемой деформации или повреждения материала противопожарной защиты, которые бы снизили его противопожарные свойства. Чтобы проверить это рекомендуется проводить испытание взрывной нагрузки после испытания на разрушение с тем же самым испытательным образцом. Так моделируется последовательность таких событий в реальности. Должны быть

указаны критерии приемки для материала противопожарной защиты для данного испытания.

## **24.6 Монтаж**

### 24.6.1 Общие сведения

В 24.6 даны руководства и рекомендации по монтажу противопожарной защиты, включая общие аспекты и пример порядка монтажа.

### 24.6.2 Установка противопожарной защиты

24.6.2.1 Противопожарная защита, закрепленная на гибкой трубе, устанавливается на объектах производителя.

24.6.2.2 Противопожарная защита для подвесных конструкций поставляется в готовых сборках, которые после устанавливаются вокруг защищаемого компонента путем их поднятия и болтового крепления на месте.

## **24.7 Управление целостностью**

### 24.7.1 Общие сведения

В 24.7 представлены руководства и рекомендации по управлению целостностью, включая возможные дефекты.

### 24.7.2 Типы неисправностей и дефекты

В таблице 24 указаны возможные дефекты противопожарной защиты.

### 24.7.3 Методы мониторинга

24.7.3.1 Общий осмотр выполняется для проверки дефектов 23.1 - 23.3, описанных в таблице 24.

24.7.3.2 Дефект 23.2 может быть очевидным при выступе противопожарной защиты от защищаемой конструкции из-за нарушения связи.

Таблица 24 – Возможные дефекты противопожарной защиты

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
23.1	Неисправность материала противопожарной защиты	Потеря противопожарной защиты в зоне повреждения; требуется замена или ремонт противопожарной защиты	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 58 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Удар упавшим объектом</li> <li>c) Усталостная поломка (только динамическая гибкая труба)</li> <li>d) Заводской брак (напр., пустоты в покрытии)</li> <li>e) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры</li> <li>f) Ползучесть (в зонах, на которые воздействуют нагрузки постоянного уровня)</li> <li>g) Неправильное проектирование (напр., неправильная толщина покрытия)</li> </ul>	Применение ремонтного материала в зоне неисправности	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Выбор материалов</li> <li>b) Увеличение толщины материала противопожарной защиты</li> </ul>
23.2	Нарушение связи материала противопожарной защиты	Последствия в соответствии с 23.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Чрезмерная нагрузка (см. таблицу 58 ГОСТ Р ИСО 13628-16)</li> <li>b) Заводской брак (напр., покрытие не установлено в соответствии с техническими требованиями)</li> <li>c) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры, приводящее к потере связи</li> </ul>	Удаление зоны с потерянной связью и установка ремонтного материала	Выбор материалов

Дефект №	Дефект	Последствия	Возможная причина	Возможное исправление	Проектное решение/изменяемые параметры
			d) Неправильное проектирование (напр., покрытие не рассчитано на силы потери связи)		
23.3	Повреждение материала противопожарной защиты	Потеря противопожарной защиты в области повреждения и возможная утечка внутренней среды и потеря герметичности в случае пожара, если не был произведен ремонт Требование заменить или отремонтировать противопожарную защиту	a) Чрезмерная нагрузка: 1) упавший объект 2) удар подводной конструкцией (напр., швартовым концом, примыкающим гибким стояком и т.д.) 3) повреждение во время погрузочно-разгрузочных работ, хранения, транспортировки или установки b) Заводской брак (напр., пустоты в покрытии) c) Старение материала из-за воздействия морской воды/высокой температуры d) Ползучесть (в зонах, на которые воздействуют нагрузки постоянного уровня) e) Неправильное проектирование (напр., у материала неправильная ударпрочность)	a) Запрос у производителя на проведение оценки повреждения и решения о том, требуется ли ремонт b) Применение ремонтного материала в зоне повреждения	a) Выбор материалов b) Увеличение толщины материала противопожарной защиты

## Библиография

- |  |   |
|--|---|
| [1] Международный стандарт ISO 13628-11:2007   | Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 11. Системы гибких трубопроводов для подводного и морского применения (ISO 13628-11:2007 "Petroleum and natural gas industries - Design and operation of subsea production systems - Part 11: Flexible pipe systems for subsea and marine applications) |
| [2] Ведомственные строительные нормы ВСН 41.88 | Проектирование ледостойких стационарных платформ  |
| [3] Руководящий документ РД 31.3.07-01         | Указания по расчету нагрузок и воздействий от волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения   |
| [4] Руководящий документ РД 52.10              | Нормативные документы, внесенные в «Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды»   |
| [5] Руководящий документ РД 37.001.131-89      | Затяжка резьбовых соединений. Нормы затяжки и технические требования  |

ГОСТ Р XXXXX-XXXX  
(проект, первая редакция)

---

УДК 622.276.04  
30.11.4

ОКС 75.020

ОКПД2

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, проектирование, эксплуатация, системы подводной добычи, руководство, вспомогательное оборудование

---