ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57555— 2017 (ИСО 19901-3:2014)

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Верхние строения

(ISO 19901-3:2014, Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 3: Topsides structure, MOD)

Издание официальное

Москва Стандартинформ 2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Филиалом ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть» в городе Волгограде на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ФГУП «Стандартинформ»

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

3 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 июля 2017 г. № 747-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-3:2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 3. Верхние строения платформ» (ISO 19901-3:2014 «Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 3: Topside structure», MOD) путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Стандартинформ, 2017

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Обозначения 5
5 Сокращения 5
6 Основные требования 5
6.1 Расчетные ситуации 5
6.2 Нормы, правила и стандарты 5
6.3 Возвышение палубы над уровнем воды и заливание палубы водой 6
6.4 Уровень сложности условий эксплуатации 6
6.5 Особенности эксплуатации 6
6.6 Выбор проектных условий окружающей среды 6
6.7 Оценка эксплуатационной пригодности существующих верхних строений 7
6.8 Повторное использование верхних строений 7
6.9 Ремонт, модернизация и техническое перевооружение 7
7 Технические требования 7
7.1 Общие сведения 7
7.2 Выбор материалов 7
7.3 Условия проектирования 7
7.4 Конструктивные соединения 8
7.5 Проектирование по предельному состоянию по критериям пригодности к нормальной эксплуатации 8
7.6 Проектирование по предельному состоянию по критериям несущей способности 9
7.7 Проектирование по предельному состоянию по критерию усталостной прочности 9
7.8 Проектирование по предельному состоянию по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций 10
7.9 Эксплуатационная надежность 10
7.10 Защита от коррозии 11
7.11 Проектирование с учетом требований к изготовлению и проведению инспекций 12
7.12 Проектирование с учетом требований оценки эксплуатационной пригодности и контроля, возможных ремонтов, модернизаций, технических перевооружений и мониторинга технического состояния 12
7.13 Проектирование с учетом требований к выводу из эксплуатации, демонтажу и утилизации . . 12
8 Воздействия 13
8.1 Общие сведения 13
8.2 Воздействия на месте эксплуатации 13
8.3 Коэффициенты воздействий 14
8.4 Вибрации вихревого происхождения 16
8.5 Деформации 16
8.6 Воздействия волн и течений 16
8.7 Воздействия морского льда 17
8.8 Воздействия снега и обледенения 18
8.9 Воздействие ветра 18
8.10 Сейсмические воздействия 18

8.11 Воздействия во время изготовления и монтажа 20
8.12 Аварийные ситуации 20
8.13 Прочие воздействия 31
9 Прочность и сопротивление элементов конструкций 32
9.1 Общие требования 32
9.2 Проектирование конструкций из цилиндрических элементов 33
9.3 Проектирование конструкций из нецилиндрических элементов 33
9.4 Соединения 33
9.5 Отливки 34
10 Конструктивные элементы верхних строений 34
10.1 Проектирование верхних строений 34
10.2 Конструкции верхних строений 35
10.3 Конструкции узлов сопряжения верхних строений и опорных частей 35
10.4 Конструкции сигнальных мачт, факельных стрел, стрел грузоподъемных кранов и аналогичные конструкции 36
10.5 Конструкции вертолетных посадочных площадок 36
10.6 Опорные конструкции грузоподъемных кранов 39
10.7 Конструкции переходных мостов 41
10.8 Конструкции опорных элементов переходных мостов 41
10.9 Конструкции противовибрационных опор динамического оборудования 41
10.10 Узлы сопряжения элементов конструкции и устанавливаемого оборудования 41
10.11 Противопожарные системы 42
10.12 Люки, горловины, отверстия 43
10.13 Труднодоступные места 43
10.14 Дренажные системы 43
10.15 Воздействия, обусловленные бурением 43
10.16 Снижение прочности при нагревании 44
10.17 Техническое обслуживание трапов, складских площадок и оборудования 44
10.18 Зоны аварийного сбора персонала 44
11 Материалы 44
11.1 Общие сведения 44
11.2 Углеродистая сталь 44
11.3 Нержавеющая сталь 47
11.4 Алюминиевые сплавы 47
11.5 Композиты, армированные волокном 48
11.6 Лесоматериалы 48
12 Изготовление, контроль качества, гарантия качества и оформление документации 48
12.1 Изготовление верхних строений 48
12.2 Сварка 49
12.3 Контроль изготовления 49
12.4 Контроль качества, обеспечение качества и документирование 49
13 Защита от коррозии 50
13.1 Общие сведения 50
13.2 Типы коррозии, ее скорость и коррозионные разрушения 50
13.3 Проектирование систем борьбы с коррозией 50

13.4 Производство и монтаж средств защиты от коррозии 52
13.5 Эксплуатационный контроль, мониторинг и обслуживание средств защиты от коррозии 52
14 Отгрузка, транспортировка и монтаж 52
15 Инспектирование и мониторинг технического состояния 53
15.1 Общие сведения 53
15.2 Частные особенности, связанные с конструкциями верхних строений 53
15.3 Объем контроля технического состояния верхних строений после завершения строительства и в ходе эксплуатации 53
16 Оценка существующих верхних строений 55
17 Повторное использование верхних строений 55
Приложение А (справочное) Дополнительная информация и рекомендации 56
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте. 72
Библиография 73

Введение

Темпы освоения углеводородных ресурсов шельфа Российской Федерации предопределили необходимость создания комплекса нормативных документов, в полной мере обеспечивающих процесс проектирования и строительства объектов обустройства морских месторождений нефти и газа.

В Российской Федерации начата активная разработка национальных стандартов в области морской нефтегазодобычи, которая в соответствии с принципами национальной стандартизации основывается на применении международных стандартов, а также учитывает многолетний накопленный отечественный опыт проектирования, строительства и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений.

Цель разработки настоящего стандарта — это обеспечить безопасность при осуществлении работ по освоению морских месторождений, расположенных на континентальном шельфе (в том числе замерзающем), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации путем повышения надежности эксплуатации сооружений за счет установления требований и принципов в отношении проектирования, изготовления, монтажа, переоборудования, эксплуатационного контроля и мониторинга технического состояния верхних строений морских нефтегазопромысловых сооружений.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-3:2014 «Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 3: Верхние строения платформ» и разработан в развитие требований нормативных положений основополагающего ГОСТ Р 54483—2011 (ИСО 19900:2002) «Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования».

Положения, учитывающие особенности национальной стандартизации и специфику национальной практики в области проектирования морских нефтегазопромысловых сооружений, приведены в дополнительных подразделах 8.7 «Воздействия морского льда», 8.8 «Воздействия снега и обледенения», пунктах 13.3.6 «Электрохимическая защита», 13.4.4 «Элементы системы электрохимической защиты» и терминологических статьях 3.3 «Аномальная ситуация», 3.9 «Клиренс», 3.11 «Монокорпус», 3.12 «Морская платформа» и 3.13 «Направление». Требования национальных надзорных органов учтены в дополнительном пункте 10.11.2 «Система обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов».

Эти дополнительные положения заключены в рамки из тонких линий. Подразделы 8.7 и 8.8 добавлены в связи с необходимостью учета при проектировании верхних строений природно-климатических особенностей расположения континентального шельфа Российской Федерации, связанных с низкими температурами окружающей среды. Пункт 10.11.2 включен в соответствии с требованиями ФНП «Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса». Пункты 13.3.6 и 13.4.4 учитывают отечественный опыт проектирования, монтажа и эксплуатации систем электрохимической защиты от коррозии конструкций морских нефтегазопромысловых сооружений. Терминологические статьи 3.3, 3.9, 3.11, 3.12 и 3.13 добавлены, поскольку определяемые термины находят применение в настоящем стандарте.

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Верхние строения

Petroleum and natural gas industry. Offshore oil and gas field structures. Topsides structure

Дата введения — 2018—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования, предъявляемые к проектированию, изготовлению, монтажу, переоборудованию, эксплуатационному контролю и мониторингу технического состояния верхних строений (ВС) морских нефтегазопромысловых сооружений (МНГС), устанавливаемых на континентальном шельфе (в том числе замерзающем), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации. Требования настоящего стандарта предъявляются к переоборудованию и техническому обслуживанию с учетом приемлемости для целостности конструкций ВС.

Воздействия на элементы конструкций ВС определяются на основе настоящего стандарта совместно с другими документами по стандартизации комплекса «Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские».

Настоящий стандарт распространяется:

- на ВС МНГС, устанавливаемых на морское дно;
- ВС плавучих МНГС, удержание (устойчивость) которых обеспечивается якорными связями.

Настоящий стандарт не распространяется на элементы ВС плавучих сооружений, которые являются частью корпуса плавучего сооружения.

Настоящий стандарт применяют только к тем элементам конструкций ВС плавучих сооружений, которые не обеспечивают общей целостности плавучего МНГС.

Настоящий стандарт не распространяется на самоподъемные буровые установки, плавучие буровые установки (в том числе буровые суда), используемые для выполнения геологоразведочных и буровых работ.

Настоящий стандарт применим:

- к проектированию, изготовлению, монтажу и переоборудованию;
- техническому обслуживанию и инспектированию;
- мониторингу технического состояния конструкций;
- повторному использованию;
- выводу из эксплуатации, демонтажу и утилизации;
- обеспечению пожаровзрывобезопасности, предотвращению, контролю и оценке других случайных (аварийных) ситуаций.

Настоящий стандарт применим к следующим элементам ВС:

- основные и вспомогательные элементы конструкции ВС;
- факельные стрелы;
- опорные конструкции грузоподъемных кранов и их стрел;

Издание официальное

- посадочные площадки (ПП) для вертолетов;
- переходные мосты между отдельными морскими сооружениями;
- сигнальные мачты.

При постройке МНГС под техническим наблюдением Российского морского регистра судоходства (РМРС) следует выполнять требования [1]—[3].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 9.908 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости

ГОСТ Р 21.1101 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации

ГОСТ Р 51901.1 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем

ГОСТ Р 54483 Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования

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

ГОСТ Р 57123 (ИСО 19901-2:2004) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Проектирование с учетом сейсмических условий

ГОСТ Р 57148 (ИСО 19901-1:2015) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Проектирование и эксплуатация с учетом гидрометеорологических условий

ГОСТ Р ИСО 17776 Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Способы и методы идентификации опасностей и оценки риска. Основные положения

СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23—81*

СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85*

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11—85

СН 2.2.4/2.1.8.566 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы

СН 2.5.2.048 Уровни вибрации на морских судах. Санитарные нормы

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 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. Сведения о действии свода правил можно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный 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 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 термины по ***ГОСТ Р 55311, ГОСТ Р 54483***, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **аварийная ситуация** (acciddental situation): Эксплуатационная ситуация, во время которой реализовывается авария.

Пример — Падение вертолета, столкновение с судном, пожар, взрыв и т. д.

3.2 **активная противопожарная защита** (active fire protection): Система противопожарной защиты, которая реагирует на огонь путем выпуска тушащего вещества, воды или инертного/реактивного вещества вблизи огня, чтобы его потушить.

Примечание — Существует вероятность неправильной работы такой системы.

3.3 **аномальная ситуация** (abnormal situation): Эксплуатационная ситуация, во время которой возникают воздействия с аномальными значениями.

Пример — Сейсмические явления с вероятностью порядка 10^{-3} — 10^{-4}.

3.4 **аномальное значение** (abnormal value): Значение параметра аномального воздействия во время аномальной ситуации при расчетах предельных состояний, при которых допускается появление повреждений конструкции, нарушающих нормальную эксплуатацию МНГС, но обеспечивается общая целостность конструкции, исключающая разрушение сооружения.

Примечание — Аномальная ситуация (в том числе сейсмические явления) может возникнуть в течение года с вероятностью порядка 10^{-3} — 10^{-4}.

3.5 **верхние строения** (topsides): Конструкции и оборудование, установленные на ОЧ (стационарную или плавучую), обеспечивающие функционирование МНГС по его назначению.

Примечание — На плавучих сооружениях в форме судна палуба не является частью ВС.

3.6 **взрыв** (explosion): Быстрая химическая реакция газов или пылевоздушных смесей.

Примечание — Взрыв приводит к повышению температуры и скачкам давления. Взрыв газа на МНГС, как правило, является горением, в котором скорость распространения пламени не превышает скорости звука.

3.7 **водоотделяющая колонна** (riser): Трубопровод, используемый для соединения оборудования подводного обустройства с морской платформой.

Примечания

1 Оконечной точкой стационарного сооружения обычно являются ВС. На плавучих сооружениях водоотделяющая колонна может заканчиваться в других местах платформы.

2 Водоотделяющая колонна может поддерживаться сбоку и вертикально конструкцией ВС, при этом конструкции ВС передаются тепловые и волновые воздействия, а также постоянные и переменные воздействия и колебания жидкостного потока.

3.8 **кессон** (caisson): Устройство, используемое для местного осушения МНГС с целью ремонта или осмотра.

3.9 **клиренс** (clearance): Расстояние по вертикали между уровнем поверхности воды или льда в период экстремальных воздействий окружающей среды и самой нижней частью конструкции ВС, которая не рассчитывается на воздействие волнения и ледяных образований.

3.10 **критический элемент** (critical component): Элемент конструкции, отказ (поломка) которого может привести к потере функциональности конструкции или ее значительной части.

Примечание — Критический элемент является частью основной конструкции.

3.11 **монокорпус** (monohull): Плавучее морское нефтегазопромысловое сооружение, состоящее из одного водонепроницаемого корпуса.

3.12

морская платформа (sea platform): Плавучее или стационарное морское нефтегазопромысловое сооружение, состоящее из верхнего строения и опорной части и предназначенное для размещения бурового и/или эксплуатационного оборудования, вспомогательного оборудования, систем и устройств, необходимых для выполнения заданных сооружению функций.

[ГОСТ Р 55311—2012, статья 2]

3.13

направление (conductor): Внешняя колонна обсадных труб скважины.

[ГОСТ Р 54483—2011, статья 3.16]

Примечания

1 Направление устанавливается, как правило, вертикально и простирается от морского дна или более низкого уровня до устьевого отсека ВС, и может поддерживаться сбоку опорной конструкцией и ВС. Вертикальная опора находится на морском дне.

2 Иногда направления жестко прикреплены к ВС или ОЧ выше уровня моря. В подобных случаях осевая жесткость направления может влиять на распределение нагрузки в пределах общей конструкции.

3.14 **опорная часть** (support structure): Конструкция, опирающаяся на морское дно, предназначенная для установки ВС и обеспечивающая устойчивость МНГС против внешних воздействий.

Примечание — На плавучих сооружениях в форме судна палуба не является частью ВС. Существуют различные типы ОЧ, среди которых стационарные стальные, стационарные бетонные, плавучие, СПБУ или различные формы арктических сооружений.

3.15 **ослабление** (mitigation): Действие, предпринятое для снижения последствий опасного события.

Пример — Установка противопожарных или взрывозащитных стен; использование водного потока для обнаружения газа; упрочнение конструкций.

3.16 **пассивная противопожарная защита** (passive fire protection): Покрытие на поверхности элемента конструкции, которое повышает устойчивость элемента конструкции к возгораниям.

Примечание — Некоторые элементы пассивной противопожарной защиты могут выделять ядовитые газы во время пожаров.

3.17 **повторяемость** (return period): Период, в течение которого рассматриваемое событие, повторяется в среднем один раз.

Примечание — Для природных явлений в области шельфовой добычи нефти и газа обычно используют период повторяемости, измеряемый годами. Интервал повторения в годах равен обратной величине годичной вероятности возникновения события.

3.18 **расчетное случайное воздействие** (design accidental action): Случайное воздействие с вероятностью возникновения более 10^{-3} — 10^{-4} на протяжении года.

3.19 **степень воздействия** (exposure level): Классификационная система, используемая для определения требований, предъявляемых к конструкции с учетом безопасности жизни и последствий неисправностей.

Примечание — Наиболее существенен первый уровень воздействия на МНГС, при этом третий уровень воздействия имеет наименьшую важность. МНГС со штатным обслуживающим персоналом, эвакуация которого не гарантирована до наступления проектного события, относится к категории МНГС с первым уровнем воздействия.

3.20 **схема нагружения** (load case): Постоянные и переменные нагрузки, а также направления и точки их приложения, рассматриваемые во время проектирования или проверки.

3.21 **характерное значение** (representative value): Значение основной переменной, позволяющее проверить предельное состояние.

3.22 **эксплуатационная надежность** (robustness): Способность конструкции выдерживать случайные и аномальные ситуации без получения повреждений, которые непропорциональны их причине.

3.23 **экстремальное значение** (extreme value): Значение параметра, используемое во время проверок предельного состояния, когда общее поведение конструкции остается в диапазоне упругих деформаций.

Примечание — Экстремальные значения и события могут возникать на протяжении года с вероятностью более 10^{-2}.

3.24 **критический элемент для безопасности** (safety-critical element): Элемент конструкции, трубопровода или оборудования, разрушение которого может повлечь крупные аварии, кроме того, критически важные элементы используются для предотвращения или смягчения последствий аварий.

Пример — Основание, оборудование под давлением, системы продувки и прочие системы безопасности, емкости и трубы, содержащие опасные материалы, системы обнаружения газов и возгораний, опоры для критически важных элементов.

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

g — ускорение свободного падения;

γ — коэффициент надежности, учитываемый при расчете строительных конструкций по предельному состоянию;

Δ — отклонение;

σ — механическое напряжение.

5 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ОБ — опорный блок;

ВЛТУ — временные локальные технические условия;

ВС — верхнее строение;

МНГС — морское нефтегазопромысловое сооружение;

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;

НКПР — нижний концентрационный предел распространения пламени;

ОЧ — опорная часть;

ПЗ — проектное землетрясение;

ПП — посадочная площадка;

РМРС — Российский морской регистр судоходства;

ФНП — федеральные нормы и правила;

ALARP — минимальный практически приемлемый уровень риска;

ALS — ***предельное состояние по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций***;

ASD — ***проектирование по допускаемым напряжениям***;

DC — класс конструкции;

FLS — ***предельное состояние по критериям усталостной прочности***;

LRFD — ***проектирование по предельным состояниям;***

MC — категория материала;

SLS — ***предельное состояние по критериям пригодности к нормальной эксплуатации;***

ULS — ***предельное состояние по критериям несущей способности;***

UR — ***коэффициент использования***.

6 Основные требования

6.1 Расчетные ситуации

Расчетные ситуации учитывают все эксплуатационные требования, временные условия, условия окружающей среды, а также аварийные и аномальные условия, способные повлиять на проектирование. Степень и величина возможных воздействий пожаров и взрывов являются важными факторами, которые необходимо учитывать при проектировании конструкций большинства ВС. Такие воздействия могут зависеть от расположения элементов конструкций и оборудования, загромождения пространства и проницаемости помещений, что необходимо учитывать при разработке планов общего расположения.

6.2 Нормы, правила и стандарты

Предельные состояния и основные принципы расчета по допустимым механическим напряжениям

В общем случае документы по стандартизации комплекса «Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские» позволяют выполнять расчеты ВС с использованием теории предельных состояний. Методы расчета по предельным состояниям также называются методами расчетных коэффициентов нагрузки и сопротивления (устойчивости).

В соответствии с настоящим стандартом по возможности следует использовать методы расчета по предельным состояниям. Однако, в случае проектирования ОЧ по допустимым напряжениям (ASD) (например, для плавучих сооружений) также допускается применение метода допустимых напряжений и для проектирования ВС с учетом действующих нормативных документов, аналогичных нормам и правилам, используемым при проектировании ОЧ ***(например, Правил РМРС)***.

Специальные требования и указания, содержащиеся в настоящем стандарте, применяют к проектированию по предельным состояниям (LRFD). При использовании нормативных документов, в которых регламентировано проектирование по допустимым напряжениям (ASD) следует применять все требования, кроме требований в отношении частных коэффициентов воздействий и сопротивления (устойчивости).

6.3 Возвышение палубы над уровнем воды и заливание палубы водой

Требования, предъявляемые к клиренсу ВС стационарных сооружений, изложены в ГОСТ Р 54483 (см. 5.9.2), ***[1]. Значения клиренса МНГС рекомендуется уточнять на основе результатов модельных испытаний.***

Ни один элемент конструкции или оборудования ВС не должен находиться в пределах расчетного клиренса. Исключение составляют элементы, способные по условиям проекта выдерживать возможные гидродинамические ***и ледовые*** воздействия. При проектировании такие воздействия должны быть идентифицированы.

Увеличение высоты модулей ВС плавучих сооружений и монокорпусов относительно уровня верхней палубы является компромиссом между снижением потенциальных воздействий давления при взрыве, увеличением доступности и снижением остойчивости. Такие плавучие сооружения могут заливаться водой в штормовую погоду, если вершина гребня волны оказывается выше уровня палубы соответствующего плавучего сооружения. Заливающая вода может течь по палубе и воздействовать на палубное оборудование и ВС. Для ВС, которые могут заливаться водой, необходимо выполнить оценку воздействия, вызванного таким заливанием.

6.4 Уровень сложности условий эксплуатации

Уровень сложности условий эксплуатации ВС и ОЧ должны совпадать, при этом их необходимо определять согласно критериям, указанным в ГОСТ Р 54483. Дополнительные рекомендации даны в ГОСТ Р 57148 и [2].

Примечание — Существуют три категории уровней сложности условий эксплуатации: МНГС первого уровня — обслуживаются персоналом на протяжении расчетных условий или имеют серьезные последствия повреждения; МНГС второго уровня — обслуживание персоналом не предусматривается на протяжении расчетных условий, при этом последствия повреждения имеют среднюю степень тяжести; МНГС третьего уровня — обслуживающий персонал обычно отсутствует, а последствия повреждения незначительны.

6.5 Особенности эксплуатации

6.5.1 Функционирование

Необходимо учитывать функциональные требования, предъявляемые к конструкции МНГС и его системам, требования безопасности и надежности МНГС.

6.5.2 Разливы и их локализация

Необходимо предусмотреть меры по недопущению разливов загрязняющих веществ. Дренажная система ВС должна обеспечивать сбор и хранение разлитых жидкостей для последующей утилизации и/или передачи сторонней организации.

6.6 Выбор проектных условий окружающей среды

При проектировании проектные условия окружающей среды (гидрометеорологические условия, в т. ч. ледовые и сейсмические) для ВС и ОЧ следует принимать одинаковыми.

Надлежит учитывать изменение скорости ветра по высоте ВС МНГС или рассматриваемого элемента конструкции.

Воздействия ветра определяют с учетом положений ГОСТ Р 57148. Скорость ветра при порывах длительностью 3 с применяют для определения максимальных квазистатических локальных воздействий ветра на особо ответственные элементы конструкции. Для определения максимальных квазистатических локальных воздействий ветра на остальные элементы конструкции применяют скорости ветра при порывах длительностью 10 с.

Для районов эксплуатации, где возможно выпадение снега, образование наледи и стамух, данные факторы необходимо учитывать при проектировании ВС МНГС.

Проектные факторы окружающей природной среды необходимо определять в ходе разработки ВЛТУ.

6.7 Оценка эксплуатационной пригодности существующих верхних строений

Любую оценку эксплуатационной пригодности существующих ВС с целью проверки соответствия требованиям настоящего стандарта следует выполнять согласно нормативным положениям по оценке текущего технического состояния и оценке конструкций действующих МНГС ГОСТ Р 54483. Дополнительные рекомендации даны в [2].

6.8 Повторное использование верхних строений

Существующие конструкции ВС могут быть демонтированы для повторного использования на других ОЧ. При рассмотрении этого вопроса ВС следует оценивать с учетом требований нормативных положений по повторной эксплуатации конструкций МНГС ГОСТ Р 54483, а также с учетом условий эксплуатации (в том числе с учетом уровня сложности условий эксплуатации) на новом месте. Дополнительные рекомендации даны в [2].

6.9 Ремонт, модернизация и техническое перевооружение

При наличии плана ремонта, модернизации, технического перевооружения существующих ВС необходимо оценить состояние их конструкции согласно требованиям, предъявляемым к процедурам оценки текущего технического состояния и оценки конструкций действующих МНГС, представленным в соответствующих документах по стандартизации комплекса «Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские». Все предпринимаемые в ходе ремонта, модернизации, технического перевооружения действия необходимо документировать (см. раздел 12).

7 Технические требования

7.1 Общие сведения

Данный раздел содержит описание минимальных требований, учитываемых при проектировании ВС. Общие принципы, предъявляемые к проектированию конструкций, изложены в ГОСТ Р 54483.

7.2 Выбор материалов

Характеристики материалов для ВС должны соответствовать требованиям, указанным в ***СП 16.13330.2011 и [1]***. В разделе 11 представлена информация об альтернативных материалах.

7.3 Условия проектирования

ВС должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечивалась устойчивость к постоянным и переменным воздействиям различных факторов, включая ветер, волнение, течение, плавучий лед, стамухи, землетрясения, изменения температуры и деформации. Временные и аномальные условия могут возникать на протяжении всего срока службы ВС. Такие воздействия должны учитывать нагрузки, прилагаемые непосредственно к ВС и ОЧ (например, волны, течения и землетрясения). Кроме того, необходимо учитывать воздействия, обусловленные движениями ОЧ, которые особенно значительны в случае плавучих сооружений.

Номинальные значения величин этих воздействий или их производных приведены в разделе 8. Необходимо рассмотреть каждый режим работы МНГС (например, бурение скважины, добыча продукции, капитальный ремонт скважины) или их комбинацию. В районах возможного обледенения следует

учитывать влияние массы льда и увеличения эффективных размеров элементов вследствие обледенения, которое усиливает воздействие ветра. ***В районах, где возможно выпадение снега, необходимо учитывать снеговые нагрузки.***

7.4 Конструктивные соединения

Особое внимание необходимо уделять следующему:

- сопряжения между разными конструкциями должны обеспечивать требуемое выравнивание с учетом производственных допусков;
- должна быть обеспечена совместимость по жесткости, перекосам и смещениям во время изготовления, монтажа и эксплуатации.

Необходимо учитывать возможные смещения конструкций ВС, опирающихся на одну или несколько отдельных конструкций ОЧ при их неравномерном деформировании.

7.5 Проектирование по предельному состоянию по критериям пригодности к нормальной эксплуатации

7.5.1 Общие сведения

Эксплуатационная пригодность ВС ограничивается значениями относительных деформаций или вибраций (вертикальных или горизонтальных). Их пределы могут определяться:

а) требованиями ***СН 2.2.4/2.1.8.566***;

б) целостностью и работоспособностью оборудования и коммуникаций;

в) допустимыми деформациями поддерживаемых конструкций, например факельных стрел, сигнальных мачт и др.;

г) повреждениями отделки помещений;

д) эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к обеспечению дренирования.

Допустимые пределы вибраций указаны в 7.5.2, а пределы деформаций — в 7.5.2.5.

7.5.2 Вибрации

7.5.2.1 Источники вибраций

При проектировании ВС необходимо учитывать наличие следующих вибраций:

а) возникающих от работающих механизмов и оборудования;

б) возникающих под действием ветра в конструкциях из тонкостенных трубчатых элементов;

в) приводящих к общим перемещениям всей конструкции МНГС под воздействием факторов окружающей среды.

7.5.2.2 Максимальные значения вибрации

Максимальные значения вибрации рекомендуется определять с учетом вибрационных характеристик оборудования, предоставляемых его изготовителями, требований ***СН 2.2.4/2.1.8.566***, ***СН 2.5.2.048***.

Предельно допустимые значения вибрации на персонал не должны превышать значений, указанных в ***СН 2.2.4/2.1.8.566 и СН 2.5.2.048***.

7.5.2.3 Вибрации с большим периодом

При проектировании консолей, образующих неотъемлемую часть ВС, необходимо стремиться к тому, чтобы частоты собственных колебаний консолей не совпадали по значению с частотами прикладываемого внешнего воздействия для предотвращения возможности появления резонансных колебаний.

7.5.2.4 Динамический анализ и предотвращение резонанса

Необходимо оценить динамический отклик различных частей ВС с целью предотвращения возникновения резонанса. Динамические характеристики больших консолей могут быть рассчитаны в рамках анализа собственного спектра. Такой анализ должен учитывать нормативные статические и приложенные воздействия. При наличии динамического оборудования (насосы, компрессоры и т. д.) необходимо выполнить трехмерный анализ вибраций. Во избежание резонанса консольная конструкция должна быть спроектирована таким образом, чтобы частоты собственных колебаний палубы находились за пределами диапазона 0,65—1,5 рабочей частоты установленного оборудования.

7.5.2.5 Прогибы

Конечную форму напряженно-деформированного состояния Δ_{max} любого элемента конструкции вычисляют по формуле

$$\Delta_{max} = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_0, \quad (1)$$

где Δ_1 — отклонение, обусловленное постоянными воздействиями после их приложения;

Δ_2 — отклонение, обусловленное переменными воздействиями и деформациями, дополнительными деформациями, возникающими с течением времени под влиянием постоянных воздействий;

Δ_0 — значение любого прогиба балки или элемента конструкции до момента приложения любого дополнительного постоянного или переменного воздействия.

Максимально допустимые значения вертикальных прогибов приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Максимально допустимые значения вертикальных прогибов

Элемент конструкции	Максимальный прогиб	
	Δ_{max}	Δ_2
Балки перекрытия	$\frac{l}{200}$	$\frac{l}{300}$
Консольные балки	$\frac{l}{100}$	$\frac{l}{150}$
Толщина плиты палубы	—	2δ или $\frac{b}{150^*}$

l — расстояние между балками;

δ — толщина настила палубы;

b — расстояние между элементами жесткости.

* Принимают минимальное значение.

В целях исключения скапливания и замерзания разлитых жидкостей и воды на поверхностях настила палуб и обеспечения надлежащего функционирования дренажных систем рекомендуется предусматривать погибь палуб МНГС.

Для обеспечения надежности функционирования телекоммуникационного оборудования необходимо соблюдать соответствующие допуски и ограничения на его пространственное расположение.

7.6 Проектирование по предельному состоянию по критериям несущей способности

К каждой комбинации прикладываемых воздействий следует применять соответствующие коэффициенты воздействия, указанные в разделе 8. Сведения о коэффициентах воздействия, используемых при проектировании по предельному состоянию по критериям несущей способности (ULS), приведены в ГОСТ Р 54483. Дополнительные рекомендации даны в ГОСТ Р 57148, ГОСТ Р 57123 и [4].

Сочетание характерных (расчетных) воздействий вызывает появление дополнительных внутренних сил или моментов S.

Расчетное значение прочности элемента конструкции определяют как репрезентативное (нормативное) значение, к которому применен коэффициент сопротивления.

Размеры каждого элемента должны быть такими, чтобы обеспечивалась расчетная прочность, позволяющая выдерживать соответствующие внутренние силы и моменты S. Необходимо использовать соответствующие критерии прочности и устойчивости, указанные в ГОСТ Р 54483, ГОСТ Р 57148, ГОСТ Р 57123. Для получения формулы характерной (расчетной) прочности элемента критерии прочности, принимаемые по другим нормативным документам, должны быть модифицированы посредством применения коэффициента соответствия, позволяющего учесть любые различия с методологией настоящего стандарта. Благодаря этому обеспечивается соответствие уровня надежности конструкций ВС требованиям настоящего стандарта.

7.7 Проектирование по предельному состоянию по критерию усталостной прочности

Расчетные воздействия, используемые при проектировании по предельному состоянию по критерию усталостной прочности (FLS), рассматриваются в соответствующих разделах ГОСТ Р 54483, ГОСТ

Р 57148, ГОСТ Р 57123. Дополнительные сведения приведены в разделе 10. При необходимости при проектировании конструкций ВС можно учитывать усталость материалов согласно методологии, изложенной в [4].

Вместо более подробной оценки допускается использовать расчетные коэффициенты усталостного повреждения, указанные в таблице 2.

Таблица 2 — Расчетные коэффициенты усталостного повреждения γ_{FD}

Повреждение элемента имеет важное значение?	Доступный для инспектирования	Недоступный для инспектирования
Нет	2	5
Да	5	10

Если ВС перед монтажом длительное время транспортируют по морю на опорной конструкции, особое внимание следует уделять усталостным свойствам элементов конструкций, которые в условиях эксплуатации не подвергаются значительным усталостным воздействиям.

7.8 Проектирование по предельному состоянию по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций

Требования к проектированию по предельному состоянию по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций (ALS) рассмотрены в 8.10. Кроме того, 7.10 содержит требования и рекомендации, связанные с определением условий и воздействий, а также частные коэффициенты воздействий и частные коэффициенты устойчивости.

7.9 Эксплуатационная надежность

ВС должны выдерживать все потенциально опасные воздействия, возникающие с определенной вероятностью, без возникновения недопустимых повреждений. Повреждение в результате случайной аварийной ситуации, возникающей с обоснованной вероятностью, не должно приводить к полной утрате целостности конструкции. Целостность поврежденной конструкции должна обеспечивать возможность остановки технологических процессов и/или безопасную эвакуацию персонала. Необходимо использовать схемы перекрытий, которые обеспечивают перераспределение воспринимаемых нагрузок.

Перед подробным анализом необходимо рассмотреть качественные оценки мер по улучшению эксплуатационной надежности второстепенных конструкций, таких как опоры трубопроводов или крепежные элементы оборудования. Для вновь проектируемых ВС необходимо оценить степень отступления от проектных решений на предприятии-изготовителе или сразу после монтажа перед началом эксплуатации.

Оценка отступления от проектных решений представляет собой визуальную оценку имеющихся конструкций и оборудования сразу после монтажа на месте эксплуатации. Данная оценка должна состоять из следующих этапов:

- планирование осмотров;
- подготовка документации для осмотров;
- оценочное определение зон потенциально сильных вибраций, а также выявление конструкций и оборудования, подверженных наибольшему риску;
- визуальная оценка;
- обработка результатов визуальной оценки;
- подготовка отчетов и рекомендаций.

Эксплуатационная надежность обеспечивается путем учета аварийных предельных состояний, обусловленных рисками для конструкций.

Процедура проектирования с учетом требований эксплуатационной надежности должна соответствовать требованиям ГОСТ Р 54483:

- планирование всех этапов разработки и эксплуатации;
- устранение влияния опасностей на конструкции путем исключения их источников;
- минимизация последствий;
- проектирование с учетом рисков.

Если гарантированное устранение рисков невозможно, возможна минимизация последствия или выполнения проектирования с учетом опасностей. В первом случае конструкции ВС необходимо рассчитывать таким образом, чтобы все первичные элементы конструкций, не защищенные от потенциальных опасностей, обладали запасом прочности и могли выдерживать силы, перераспределяемые в пределах конструкций ВС. Во втором случае критически важные элементы, подверженные рискам, рассчитываются таким образом, чтобы их прочность оказалась достаточной для противодействия потенциальным опасностям.

При условии малой вероятности возникновения потенциальных опасностей требования в отношении эксплуатационной надежности не должны предусматривать сохранения эксплуатационной пригодности всей конструкции после удаления любого ее элемента. Отправной точкой при проектировании является наиболее маловероятная опасность (по сравнению с обычными расчетными ситуациями), которой нельзя пренебречь. Требования в отношении эксплуатационной надежности не предъявляют при отсутствии потенциальных опасностей. Рассмотрение отдельных рисков выполняют независимо друг от друга, затем определяют их взаимосвязь и оценку совокупного влияния.

Во время планирования необходимо выявить области и элементы, подверженные наибольшему риску. Обработка результатов визуальной оценки представляет собой простые вычисления, выполняемые с целью подтверждения адекватности креплений при наличии сомнений в их практической пригодности. Необходимо выявить, задокументировать и реализовать в кратчайшие сроки необходимость проведения ремонта.

Визуальный осмотр не ограничивается только физической проверкой ВС, поскольку подразумевает выполнение всех действий, необходимых для подтверждения адекватности оцениваемых элементов. Сюда входят начальная идентификация критических элементов обеспечения безопасности, определение возможности элементов и их креплений выдерживать возникающие воздействия, определение возможности элементов и их опор сохранять упругость при экстремальных воздействиях, а также определение существования какого-либо взаимодействия с прилегающим оборудованием или конструкциями. Анализ опорных конструкций и площадок доступа к оборудованию должен основываться на ранее полученной практической информации и рассмотрении возможных путей приложения нагрузок для различных схем нагружения.

7.10 Защита от коррозии

Элементы конструкции следует проектировать таким образом, чтобы не создавать дополнительные условия для возникновения и развития коррозии, а также возникновения препятствия при дренировании жидкостей.

Средства коррозионной защиты должны быть совместимы с проектными решениями, принятыми для конструкций ВС. При выборе средств коррозионной защиты необходимо учитывать:

а) проектный допуск на коррозию (если применяется);

б) расчетный срок эксплуатации, потребность и периодичность планового технического обслуживания и ремонта;

в) возможность доступа к системам защиты от коррозии в ходе эксплуатации (в случае необходимости технического обслуживания);

г) необходимость защиты деталей, чувствительных к контактной коррозии (например, болтовых соединений и поверхностей сопряжения между трубопроводами и их опорами);

д) необходимость защиты пустот, подверженных коррозии (например, путем герметизации вентиляционных отверстий в опорах труб после сварки);

е) перечень требований, предъявляемых к защите от коррозии;

ж) устранение электрохимической коррозии (например, между рамой из углеродистой стали и алюминиевой вертолетной ПП или между рамой из углеродистой стали и технологическими трубами или резервуарами из нержавеющей стали).

Если элементы конструкции используются для хранения жидкостей (например, резервуары для хранения дизельного топлива, расположенные в основании подъемного крана ***или встроенные в силовой набор палубы***), необходимо предусматривать соответствующую систему борьбы с коррозией.

Если для какого-либо элемента предусмотрен допуск на коррозию, значение такого допуска необходимо задокументировать для последующего использования при планировании инспекций и оценке результатов инспекций (см. раздел 15).

Особое внимание необходимо уделить предотвращению утечек воды и последующей коррозии под обшивкой и в системах пассивной противопожарной защиты.

Дополнительные требования и рекомендации по борьбе с коррозией согласно разделу 13. Выбор толщины окрашенной стальной палубы зависит в большей степени от требований, предъявляемых к жесткости и предотвращению деформаций при сварке, чем от учета коррозионного износа.

7.11 Проектирование с учетом требований к изготовлению и проведению инспекций

Проектирование ВС следует осуществлять с учетом имеющихся технологий изготовления, строительства, транспортировки и монтажа конструкций. Разрабатываемые конструкции должны соответствовать этим технологиям с точки зрения выбора свойств материалов, назначения различных допусков, обеспечения доступа при производстве работ и устойчивости на всех этапах строительства.

Проектную документацию необходимо разрабатывать с учетом требований обеспечения эксплуатационного контроля и технического обслуживания, планируемого на протяжении всего срока эксплуатации ВС. Если для обеспечения конструктивной целостности ВС на протяжении их расчетного срока эксплуатации требуется обязательный эксплуатационный контроль, необходимо предусмотреть возможность обеспечения доступа для такого контроля.

Проектные решения в части обеспечения эксплуатационного контроля должны быть соответствующим образом задокументированы в проектной документации.

Во время строительства ВС отклонения от проектной документации, снижающие безопасность МНГС, не допускаются.

При проектировании должны быть определены степень, тип и признаки дефектов, определяемые методами неразрушающего контроля, а также уровень эксплуатационных характеристик (например, усталости), зависящих от выполнения определенных требований при производстве строительных работ.

Примечание — Настоящий стандарт содержит требования, предъявляемые к материалам (см. раздел 11), контролю качества, обеспечению качества, документированию, сварке и контролю изготовления (см. раздел 13).

7.12 Проектирование с учетом требований оценки эксплуатационной пригодности и контроля, возможных ремонтов, модернизаций, технических перевооружений и мониторинга технического состояния

При проектировании, изготовлении, испытании, транспортировке и монтаже конструкций ВС необходимо обеспечить сбор и накопление данных, объем которых достаточен для подготовки программ эксплуатационного контроля, возможных модернизаций ВС и т. д. Необходимо определить элементы, чувствительные к усталости, и другие критические зоны конструкций ВС. Полученную информацию следует использовать при разработке программ мониторинга технического состояния (эксплуатационного контроля).

Расстояния между опорами оборудования и конструкциями ВС должны обеспечивать доступ для проведения инспекций и технического обслуживания самого оборудования и прилегающих конструкций.

7.13 Проектирование с учетом требований к выводу из эксплуатации, демонтажу и утилизации

7.13.1 Общие сведения

При проектировании ВС должна быть предусмотрена возможность его демонтажа.

7.13.2 Обеспечение отсоединения и демонтажа

Фундаменты блоков, противовибрационные крепления и опоры оборудования должны обеспечивать возможность последующего отсоединения и демонтажа.

7.13.3 Подъемные приспособления

Если подъемные приспособления для монтажа конструкций ВС не будут препятствовать эксплуатации МНГС, следует рассмотреть возможность их сохранения с целью последующего использования во время вывода из эксплуатации.

7.13.4 Операции по подъему и установке тяжеловесного оборудования и конструкций

При операциях по демонтажу и погрузке на баржу необходимо учитывать коэффициенты динамичности.

8 Воздействия

8.1 Общие сведения

Конструкции ВС могут подвергаться воздействиям, возникающим при различных расчетных ситуациях на протяжении всего срока эксплуатации сооружений. К таким ситуациям относят:

- воздействия ветров при экстремальных условиях окружающей среды;
- косвенные воздействия ***плавучего льда, стамух,*** волн и течений, передаваемые на ВС через ОЧ сооружений при экстремальных условиях окружающей среды;
- воздействия ветров при нормальных (рабочих) условиях окружающей среды;
- косвенные воздействия ***плавучего льда,*** волн и течений, передаваемые на ВС через ОЧ сооружений при нормальных (рабочих) условиях окружающей среды;
- изготовление;
- транспортировка;
- монтаж;
- усталость материалов в период до осуществления монтажа и во время расчетного срока эксплуатации;
- аварийные ситуации, в том числе пожары, взрывы, столкновения с судном и падение предметов;
- воздействия ветров при аномальных условиях окружающей среды;
- косвенные воздействия ***плавучего льда,*** волн и течений, передаваемые на ВС через ОЧ сооружений при аномальных условиях окружающей среды;
- землетрясения;
- демонтаж/утилизацию.

Каждая вышеперечисленная расчетная ситуация подразумевает наличие нескольких воздействий, таких как постоянные, переменные и внешние воздействия, деформации, температурные эффекты и аварийные ситуации (каждому случаю соответствуют подходящие частные коэффициенты воздействия).

Общие указания по расчетным ситуациям приведены в ГОСТ Р 54483.

8.2 Воздействия на месте эксплуатации

Для каждого элемента конструкции ВС необходимо оценить внутренние силы S (последствие воздействия), возникающие в результате расчетного воздействия F_d. Расчетное воздействие определяют на основе следующих комбинаций воздействий:

а) максимальные постоянные и переменные воздействия G_1, G_2, Q_1 и Q_2;

б) экстремальные воздействия окружающей среды (G_1, G_2, Q_1, E_e и D_e) вместе с любыми воздействиями, обусловливающими перемещения ОЧ;

в) нормальные (рабочие) воздействия окружающей среды во время эксплуатации (G_1, G_2, Q_1, Q_2, E_o и D_o) вместе с любыми воздействиями, обусловливающими перемещения ОЧ,

где G_1 — постоянное воздействие на конструкции ВС, обусловленное их собственной массой вместе с оборудованием и другими объектами; кроме того, частью G_1 являются любые воздействия, обусловленные неправильным расположением конструкций (например, положением конструкции ВС относительно ОЧ);

G_2 — постоянное воздействие на конструкции ВС, которое обусловлено собственной массой оборудования и других объектов, при этом такое воздействие остается постоянным в течение длительных периодов времени, но может изменяться при переходе от одного режима к другому или во время определенного режима работы;

Q_1 — переменное воздействие на конструкции ВС, обусловленное массой продукта и различных жидкостей в трубопроводах, технологических аппаратах, емкостях и хранилищах, массой транспортируемых емкостей и контейнеров для доставки продукта, массой наледи, массой персонала и его отдельными воздействиями; кроме того, частью Q_1 являются любые воздействия, обусловленные перемещениями ОЧ не под влиянием внешних воздействий (например, осадка плавучего сооружения для хранения и отгрузки добытых углеводородов) и приемки грузов (в том числе изгиб ОЧ вследствие таких воздействий);

Q_2 — кратковременное переменное воздействие на конструкции ВС, обусловленное выполнением ряда операций, среди которых подъем бурильной колонны, работа кранов, испытание на герметичность труб и технологических аппаратов, работа машин и механизмов, причаливание судов к МНГС и воздействия при взлете/посадке вертолетов;

E_e — экстремальное квазистатическое воздействие внешней среды на конструкции ВС, а также любые внешние воздействия, передаваемые через ОЧ (см. комплекс стандартов «Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские»). Кроме того, частью E_e являются любые воздействия, обусловленные перемещениями ОЧ при наличии экстремальных внешних условий, таких как качка плавучего сооружения для хранения и отгрузки добытых углеводородов, а также любой последующий изгиб ОЧ вследствие этого воздействия;

D_e — эквивалентное квазистатическое воздействие на конструкцию ВС, представляющее собой динамический отклик на экстремальное внешнее воздействие (см. комплекс стандартов «Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские»);

E_o — воздействие окружающей среды на конструкцию ВС, а также любые внешние воздействия, передаваемые через ОЧ, связанные с условиями окружающей среды, ограничивающими конкретную технологическую операцию (см. 8.3.4); кроме того, частью E_o являются любые воздействия, обусловленные перемещениями ОЧ при наличии рабочих внешних условий, таких как качка плавучего сооружения для хранения и отгрузки добытых углеводородов, а также любой последующий изгиб ОЧ вследствие этого воздействия;

D_o — эквивалентное квазистатическое воздействие на конструкцию ВС, представляющее собой динамический отклик на рабочее внешнее воздействие (E_o).

Часто значения G_1, G_2, Q_1 и Q_2 не определяются надлежащим образом на начальных этапах проектирования, поэтому следует учитывать потенциальное отсутствие точности.

При проектировании ВС выполнение расчетов конструкций и определение размеров элементов обычно выполняют после завершения проектирования технологического оборудования и вспомогательного оборудования. На первоначальных этапах проектирования массу определяют на основе аналогов. Коэффициенты запаса прочности применяют с учетом значений массы, принятой по аналогам. По мере разработки проекта происходит последовательное уменьшение коэффициентов запаса прочности и увеличение значений G_1, G_2, Q_1 и Q_2, чтобы учесть коэффициенты запаса прочности до завершения проекта.

Аналогичным образом во время проектирования необходимо учитывать потенциальное смещение центра тяжести ВС, особенно при их отгрузке, транспортировке и монтаже.

8.3 Коэффициенты воздействий

8.3.1 Расчетное воздействие для проектной ситуации на месте эксплуатации при наличии только постоянных и переменных воздействий

Расчетное воздействие F_d для проектной ситуации на месте эксплуатации при наличии максимальных постоянных и переменных воздействий вычисляют по формуле

$$F_d = \gamma_{f,G_1} G_1 + \gamma_{f,G_2} G_2 + \gamma_{f,Q_1} Q_1 + \gamma_{f,Q_2} Q_2. \quad (2)$$

Значения частных коэффициентов воздействий γ_f должны равняться значениям коэффициентов, используемых для проектирования или оценки ОЧ МНГС в соответствии с ГОСТ Р 54483. Допускается использование значений частных коэффициентов воздействий в соответствии с [4].

8.3.2 Расчетные воздействия при испытании оборудования

Емкости, трубопроводы и оборудование, работающее под давлением, могут подвергаться опрессовке и испытаниям под давлением на различных этапах эксплуатации МНГС. Дополнительные воздействия, обусловленные любой массой испытательной жидкости, должны считаться частью кратковременного переменного воздействия Q_2.

8.3.3 Расчетное воздействие для проектной ситуации на месте эксплуатации при экстремальных воздействиях окружающей среды

Расчетное воздействие F_d для проектной ситуации на месте эксплуатации при наличии экстремальных внешних воздействий на ВС стационарных сооружений вычисляют по формуле

$$F_d = \gamma_{f,G_1} G_1 + \gamma_{f,G_2} G_2 + \gamma_{f,Q_1} Q_1 + \gamma_{f,Q_2} Q_2 + \gamma_{f,E_e} (E_e + \gamma_{f,D} D_e). \quad (3)$$

Для выполнения проверки необходимо выбрать максимальные значения параметров G_2, Q_1 и Q_2, связанных с конкретной рассматриваемой рабочей ситуацией.

Расчетное воздействие для плавучих МНГС следует вычислять аналогичным образом с учетом вращений и ускорений, обусловленных перемещениями корпуса плавучего МНГС.

Значения частных коэффициентов воздействий γ_f должны равняться значениям коэффициентов, используемых для проектирования или оценки ОЧ МНГС в соответствии с ГОСТ Р 54483. Допускается использование значений частных коэффициентов воздействий в соответствии с [4].

Если внутренние силы обусловлены постоянными и переменными воздействиями ветров, волн и течений в экстремальных условиях окружающей среды, расчетное воздействие F_d следует вычислять по формуле с использованием меньших частных коэффициентов постоянных и переменных воздействий

$$F_d = \gamma_{f,G_1} G_1 + \gamma_{f,G_2} G_2 + \gamma_{f,Q_1} Q_1 + \gamma_{f,E_e} (E_e + \gamma_{f,D} D_e). \quad (4)$$

Для выполнения проверки значений параметров G_2 и Q_1 не следует учитывать элементы, связанные с рассматриваемым режимом работы, которые не могут гарантированно присутствовать во время эксплуатации.

Значения частных коэффициентов воздействий γ_f должны равняться значениям коэффициентов, используемых для проектирования или оценки ОЧ МНГС, когда внутренние силы возникают под действием постоянных и переменных воздействий ветров, волн, течений, ***морского льда*** в экстремальных условиях окружающей среды.

Примечания

1 Подходящие частные коэффициенты внешнего воздействия зависят от уровня сложности условий эксплуатации, долговременных условий окружающей среды в месте расположения МНГС, а также от геометрических и конструкционных свойств рассматриваемого сооружения.

2 При отсутствии данных по значениям частных коэффициентов воздействий допускается принимать значение $\gamma_{f,E_e} = 1{,}35$.

8.3.4 Расчетные воздействия для проектной ситуации на месте эксплуатации при нормальных (рабочих) воздействиях окружающей среды

Проведение работ на МНГС часто ограничивается из-за неблагоприятных условий окружающей среды. Степень ограничения зависит от типа выполняемых технологических операций. Из-за неблагоприятных условий окружающей среды могут ограничиваться, например, следующие работы:

- бурение и капитальный ремонт;
- ***отгрузка продукции скважин;***
- погрузочно-разгрузочные работы (обработка с судов обеспечения, прием топлива и т. д.);
- крановые работы на палубе;
- проведение работ на палубе и за бортом;
- доступ на палубу;
- вертолетные операции.

Каждую рабочую ситуацию, которая ограничивается условиями окружающей среды, следует оценивать согласно формулам (5) и (6), где E_o и D_o соответствуют внешним воздействиям, ограничивающим работы.

Расчетное воздействие F_d для проектной ситуации на месте эксплуатации, подразумевающее выполнение работ на стационарных МНГС, вычисляют по формуле

$$F_d = \gamma_{f,G_1} G_1 + \gamma_{f,G_2} G_2 + \gamma_{f,Q_1} Q_1 + \gamma_{f,Q_2} Q_2 + \gamma_{f,E_o} (E_o + \gamma_{f,D} D_o). \quad (5)$$

Для выполнения проверки необходимо выбрать максимальные значения параметров G_2, Q_1 и Q_2, связанных с конкретной рассматриваемой рабочей ситуацией.

Если внутренние силы возникают под действием постоянных и переменных воздействий ветров, волн, течений, ***морского льда*** в рабочих условиях окружающей среды, расчетное воздействие F_d вычисляют по формуле с использованием меньших частных коэффициентов постоянных и переменных воздействий

$$F_d = 0{,}9\ G_1 + 0{,}9\ G_2 + 0{,}8\ Q_1 + \gamma_{f,E_o}(E_o + \gamma_{f,D}\ D_o). \quad (6)$$

Для выполнения проверки значения параметров G_2 и Q_1 не должны учитывать элементы, связанные с рассматриваемым режимом работы, которые не могут гарантированно присутствовать во время эксплуатации.

Расчетное воздействие для плавучих МНГС вычисляют аналогичным образом с учетом вращений и ускорений, обусловленных перемещениями корпуса плавучего МНГС.

Примечание — При отсутствии данных по значениям частных коэффициентов воздействий допускается принимать значение $\gamma_{f,E_o} = 0{,}9 \times 1{,}35$ (приблизительно 1,20).

8.4 Вибрации вихревого происхождения

Для процедур изготовления, транспортировки и эксплуатации необходимо оценить вероятность возникновения вибраций вихревого происхождения, обусловленных воздействиями ветра на незащищенные элементы конструкций.

Если воздействия вибраций вихревого происхождения на решетчатые конструкции (например, факельные конструкции и буровые вышки) и трубопроводы являются значительными, то они должны быть учтены в расчетах усталостной прочности.

8.5 Деформации

Внутренние силы, связанные с деформациями, могут возникать вследствие производственных допусков, оседания фундаментов и неустановленных воздействий при транспортировке и подъеме. Внутренние силы могут также возникать в результате рабочего или случайного теплового расширения.

Если основная конструкция ВС поддерживается конструкцией гравитационного морского основания с несколькими колоннами, смещения и деформации ВС колонн могут привести к значительным косвенным воздействиям на конструкции ВС. По этой причине ОЧ и ВС, как правило, следует анализировать совместно для основного и усталостного предельных состояний.

Все подобные воздействия или результаты воздействий следует рассматривать совместно с подходящими рабочими и внешними воздействиями, чтобы обеспечить соблюдение критериев основного предельного состояния и предельного состояний по эксплуатационной пригодности.

Корпуса плавучих сооружений могут создавать значительные деформации на уровне конструкций ВС, которые должны быть учтены при проектировании. Необходимо учитывать различия между статическими деформациями, обусловленными балластными нагрузками, и динамическими деформациями, возникающими при воздействии окружающей среды (волн, течений, плавучего льда).

8.6 Воздействия волн и течений

Волны и течения непосредственно воздействуют в основном на ОЧ или корпус плавучего МНГС, однако при этом ВС зачастую подвергаются косвенным воздействиям, обусловленным смещениями и деформациями ОЧ и корпусов. Все воздействия волн и течений на ОЧ, вспомогательные элементы (например, направления, вертикальные трубопроводы, кессоны и т. д.) и ВС необходимо учитывать при расчете внешних воздействий на ВС, перечисленные ниже:

а) для стационарных МНГС:

- поперечные ускорения ВС вследствие деформаций ОЧ,
- воздействия на несущую конструкцию вследствие горизонтальных воздействий на ОЧ,
- особое внимание необходимо уделить ВС на ОЧ из железобетона с несколькими опорными колоннами, которые подвергаются воздействиям волн с различных направлений на различные колонны, что порождает в ВС разнообразные силы и моменты при высоте волн значительно меньше экстремальных значений;

б) для плавучих МНГС:

- поступательные ускорения вследствие качки, заплеска и наката волн на корпус,
- угловые ускорения вследствие наклона и вращения корпуса,
- поворот ВС вследствие вращения и наклона с последующим изменением направления воздействий,
- особое внимание необходимо уделить деформациям ОЧ и последующим воздействиям на точки опор конструкций ВС.

При ударах морской воды о палубу и оборудование МНГС могут возникать сильные воздействия. Если существует недостаточный просвет для наката волны на стойки и колонны или происходит затопление палубы плавучего МНГС (заливание сплошным слоем воды), необходимо учитывать все воздействия потока воды на плавучесть, инерцию, сопротивление и пр. в соответствии с ГОСТ Р 54483, ГОСТ Р 57123. Допускается учитывать соответствующие рекомендации, представленные в [4].

8.7 Воздействия морского льда

Нагрузки от воздействий морского льда на ОЧ или корпуса плавучих МНГС могут существенно превышать нагрузки от воздействий волн. Особенностями воздействий морского льда являются:

- действие на протяжении продолжительного времени,
- сравнительно высокие частоты воздействия, что приводит к возникновению вибраций, в том числе в конструкциях ВС,
- образование нагромождений льда,
- возможность вмерзания сооружения в ледяное поле с последующей внезапной подвижкой,
- увеличение нагрузки при забивании льда между ОБ МНГС, ОЧ которых состоит из нескольких ОБ.

Морской лед непосредственно воздействует на ОЧ или корпус плавучего МНГС. При этом ВС зачастую подвергают косвенным воздействиям, обусловленным смещениями и деформациями ОЧ и корпусов. Прямые воздействия морского льда на элементы ВС, направления скважин и стояки подводных трубопроводов не допускаются. Отметка низа палубы ВС должна назначаться таким образом, чтобы исключалось прямое воздействие морского льда на элементы конструкции ВС.

При прочностных расчетах МНГС следует учитывать наличие перечисленных ниже воздействий, возникающих при взаимодействии морского льда с ОЧ:

а) для стационарных МНГС:

- поперечные ускорения ВС вследствие деформаций и перемещений ОЧ,
- воздействия на несущую конструкцию вследствие горизонтальных воздействий на ОЧ,
- особое внимание необходимо уделить ВС на ОЧ с несколькими ОБ, которые при воздействиях морского льда могут испытывать нагрузки, максимумы которых не совпадают по времени. Деформации ОБ при этом могут иметь существенно различные значения, что следует учитывать при проектировании как элементов опирания ВС, так и оценки прочности ВС в целом,
- при проектировании необходимо учитывать возможность образования ледяных нагромождений значительной высоты перед конструкциями ОЧ и предусматривать мероприятия для недопущения навала льда на палубы ВС. При необходимости в конструкции МНГС должны быть предусмотрены дефлекторы, препятствующие попаданию льда на палубу. Размеры ледовых нагромождений следует учитывать при выборе характеристик грузоподъемного оборудования, которое должно обеспечивать возможность проведения погрузочно-разгрузочных работ с палубы судна снабжения;

б) для плавучих МНГС:

- поступательные ускорения вследствие воздействий морского льда,
- угловые ускорения вследствие наклона и вращения корпуса,
- поворот ВС вследствие вращения и наклона с последующим изменением направления воздействий,
- особое внимание необходимо уделить деформациям ОЧ и последующим воздействиям на точки опор конструкций ВС.

Положения по определению ледовых нагрузок приведены в ГОСТ Р 57148.

Кроме того, при проектировании опорных конструкций технологических систем ВС, арматуры и фундаментов оборудования следует учитывать:

- ледовые нагрузки на ОЧ, вызывающие аномальные вибрации идентичные вибрации при землетрясениях,
- ледовые нагрузки на ОЧ средней продолжительности, вызывающие кратковременную вибрацию,
- возникновение резонанса, вызванного воздействием ледовых нагрузок, собственной частотой сооружения и частотой вращения (вибрацией) вращающихся элементов технологического оборудования, таких как компрессоры, насосы, газотурбинные генераторы.

Следует уделять особое внимание вопросам усталостной прочности при низких температурах.

8.8 Воздействия снега и обледенения

При проектировании ВС сооружений для эксплуатации в условиях, где возможно выпадение снега и образование льда на элементах сооружения, эти воздействия необходимо учитывать.

Следует провести оценку того, в каких местах и в каком количестве снег может скапливаться на ВС, а также его возможное воздействие на сооружение.

Обледенение элементов ВС может увеличить их размер, что приведет к существенному увеличению ветрового воздействия и весовой нагрузки. В особенности это относится к элементам, имеющим большое отношение длины к поперечному размеру (например, факельные стрелы, грузоподъемное оборудование, буровые вышки и др.). При проектировании следует учитывать обледенение, вызываемое морскими брызгами, замерзающим дождем, моросью и туманом.

Положения по определению нагрузок от воздействий снега и обледенения приведены в ГОСТ Р 57148.

8.9 Воздействие ветра

Дополнительные сведения о скоростях, профилях и длительности порывов ветров приведены в ГОСТ Р 57148. Для определения воздействия ветра на ВС необходимо воспользоваться методологией соответствующих нормативных документов.

Положения по определению ветровых нагрузок приведены в СП 20.13330.2011.

8.10 Сейсмические воздействия

8.10.1 Общие сведения

При изучении условий землетрясения конструкции ВС следует рассматривать как часть МНГС, состоящего из ОЧ со своим фундаментом и оборудованием ВС. Соответствующие требования приведены в ГОСТ Р 57123. Дополнительные указания для элементов ВС — в 8.10.2.

Конструкции ВС, трубопроводная обвязка оборудования и другое палубное оборудование следует спроектировать и установить таким образом, чтобы они могли выдерживать сейсмические воздействия, вызванные расчетным сейсмическим событием, при этом возможно ограничение смещений без неприемлемого повреждения оборудования, трубопроводов, оборудования и их опор.

Особое внимание следует уделять проектированию ограничений для критически важных трубопроводов и оборудования, неисправность которых может привести к нанесению телесных повреждений персоналу, разливу потенциально вредных материалов, загрязнению вредными веществами или препятствию ликвидации аварии.

Расчетные уровни ускорений должны учитывать динамический отклик всего МНГС и по возможности локальный динамический отклик палубы и оборудования. Благодаря динамическому отклику МНГС расчетные уровни ускорений обычно намного больше колебаний грунта и, как следствие, больше перемещений, связанных с проектированием сейсмостойких конструкций аналогичных морских технологических установок.

Для сейсмических зон 0 и 1 (ГОСТ Р 57123), где расчетное горизонтальное спектральное ускорение не превышает 0,10 g, расчет воздействий землетрясений на ВС возможно выполнять с учетом следующих допущений:

- для стационарных сооружений в этих сейсмических зонах можно пренебречь требованиями, которые предъявляют к пластичности ВС;
- трубные соединения допускается проектировать только для расчетных соединяющих сил (вместо предела текучести элемента конструкции или критического усилия при продольном изгибе) при условии, что конструкции ВС удовлетворяют требованиям, предъявляемым к прочности, с учетом колебаний грунта, характерных для редких максимальных расчетных землетрясений (МРЗ).

Однако, если нормативные положения не требуют дальнейшего анализа воздействий землетрясений на конструкции ВС, необходимо учесть сейсмический отклик конструкций ВС путем обеспечения запаса прочности и анализа резких изменений жесткости или прочности.

Усиление вертикального общего отклика МНГС крайне нежелательно, когда периоды собственных колебаний балок или консольных ферм близки к периоду вертикальных колебаний всего МНГС. В противном случае может потребоваться расчет сопряжений.

Требования, связанные с ПЗ, применяют с целью адекватного расчета размеров, прочности и жесткости ВС. Благодаря этому обеспечивается отсутствие значительных повреждений конструкций.

Требования, предъявляемые к сейсмическим воздействиям уровня МРЗ, направлены на обеспечение достаточного запаса прочности ВС, чтобы предотвратить их разрушение во время редких интенсивных сейсмических толчков с годовой вероятностью превышения 10^{-4}. Такие редкие сейсмические колебания могут приводить к неупругим смещениям и повреждениям конструкций без прогрессирующего разрушения.

8.10.2 Минимальное поперечное ускорение

Минимальное расчетное поперечное ускорение 0,2 *g* соответствует МРЗ, воздействующего на ВС, оборудование и несущие конструкции всех строений (кроме первой категории сейсмической опасности по ГОСТ Р 57123), в том числе в сейсмической зоне 0.

8.10.3 Оборудование верхнего строения

Как правило, оборудование ВС жестко устанавливают на его конструкции, и его отклики в поперечном и вертикальном направлениях вычисляются непосредственно на основе максимальных расчетных ускорений палубы. Однако в некоторых случаях гибкость ВС может влиять на частоту собственных колебаний оборудования и приспособлений.

Для относительно жесткого оборудования и приспособлений, масса которых мала по сравнению с массой конструкций ВС и допускает применение модели с одной степенью свободы, можно выполнить упрощенный анализ, состоящий из следующих этапов:

- на основе предварительного динамического анализа всего МНГС по ГОСТ Р 57123 определяют ускорения в зоне расположения опор оборудования;
- выполняют умножение массы оборудования на результирующее ускорение с последующим проектированием опор для результирующих воздействий.

Более строгий анализ необходим в следующих случаях:

а) масса всего оборудования превышает 5 % общей массы МНГС;

б) оборудование имеет динамические характеристики, или опорная конструкция влияет на вибрации оборудования;

в) собственный период колебаний оборудования с одной степенью свободы превышает в 1,25 раза период значимой моды всей конструкции.

Более строгий анализ выполняют с использованием:

- анализа, не связанного со спектром отклика перекрытия на уровне палубы;
- методов связанного анализа.

К оборудованию, которое обычно нуждается в более строгом анализе, относят: буровые установки, факельные конструкции, вентиляционные и коммуникационные вышки, палубные кронштейны, высокие технологические резервуары, переходные мосты и грузоподъемное оборудование.

Анализ, надлежащим образом учитывающий динамические взаимодействия между оборудованием и конструкциями ВС, позволяет получить более точные и зачастую более низкие расчетные ускорения по сравнению с расчетными значениями на основе спектра отклика несвязанного перекрытия.

Метод вторичных воздействий, применяемый при проектировании оборудования или элементов палубы с учетом сейсмостойкости, зависит от динамических характеристик и сложности несущих конструкций. Существуют два варианта анализа.

В рамках первого варианта благодаря надлежащему креплению и поперечному ограничению большая часть палубного оборудования и трубопроводов обладает достаточной жесткостью, поэтому их несущая конструкция, ограничители поперечных перемещений и крепления можно проектировать с использованием статических воздействий, определяемых на основе пиковых ускорений палубы при ПЗ.

Поперечные и вертикальные периоды вибраций оборудования должны значительно отличаться от основных периодов вибраций конструкций ВС в целях обеспечения достаточной жесткости данного оборудования.

Кроме того, силовой набор палубы, поддерживающий оборудование, должен обладать достаточной жесткостью, чтобы не создавать динамическую силу. При выборе расчетных значений поперечного ускорения необходимо учитывать повышенный отклик в направлении углов палубы, обусловленный крутильным откликом МНГС.

Второй вариант анализа применяют к более сложному оборудованию: например, буровой установке и оборудованию для ремонта скважин, факельным стрелам, грузоподъемным кранам, палубным консолям, высоким отдельно стоящим емкостям, неэкранированным цистернам со свободными поверхностями жидкости, длинным стоякам, гибким трубопроводам, спасательным средствам и трубопроводной обвязке манифольда. В этом случае необходимо уделить внимание учету дополнительных сил, воз-

никающих при динамическом усилении и/или неравномерных смещениях. Такие силы можно оценить путем сопряженного или несопряженного анализа.

Несопряженный анализ с использованием спектра палубного настила приводит к получению более высоких значений расчетных воздействий на оборудование по сравнению с более репрезентативным сопряженным анализом, особенно для более тяжелых элементов и тех элементов, периоды собственных колебаний которых близки к значительным периодам собственных колебаний всего сооружения. ГОСТ Р 57123 содержит описание процедур сопряженного и несопряженного анализов, позволяющих учитывать такое взаимодействие.

Если сопряженный анализ используют для относительно жестких элементов, допускающих упрощенное моделирование, расчетные ускорения, полученные в рамках процедуры комбинирования мод, не должны оказаться меньше пиковых ускорений палубы.

Тщательный анализ оборудования и трубопроводов на существующих МНГС в сейсмических зонах позволяет выявить опоры оборудования и трубопроводов, которые необходимо модернизировать. Добавление или исключение простого крепления и/или опор может значительно улучшить устойчивость оборудования и трубопроводов к землетрясениям.

При проектировании палубных опорных конструкций, локального палубного набора, опор оборудования и боковых ограничителей, подвергающихся воздействиям землетрясений экстремального уровня, возможно использование более высоких значений частных коэффициентов воздействий. Более высокие значения частного коэффициента воздействия позволяют повысить запас безопасности без выполнения анализа пластичности. В зонах, где отношение редких аномальных интенсивностей движения грунта к экстремальным уровням интенсивностей движения грунта превышает 2,0, необходимо скорректировать значение частного коэффициента воздействия. Кроме того, для некоторого оборудования, трубопроводов, приспособлений или опорных конструкций запас прочности, последствия отказов и/или характеристики металлов могут потребовать использования более высоких значений частных коэффициентов воздействий, связанных с ПЗ. Также может потребоваться подробный анализ пластичности элементов конструкций, подвергающихся воздействию редких аномальных движений грунта во время землетрясений.

8.11 Воздействия во время изготовления и монтажа

8.11.1 Общие сведения

Настоящий раздел содержит положения, обеспечивающие расчетную прочность и целостность конструкций ВС с самого начала их срока эксплуатации. Во время монтажа выполняют операции по перемещению элементов ВС от места изготовления (или участка в море) до ОЧ с последующим монтажом ВС и завершением строительства МНГС. Раздел 14 содержит дополнительные сведения о процедурах монтажа.

8.11.2 Изготовление

Необходимо учитывать последовательность изготовления и критические операции, связанные с перемещением и подъемом элементов ВС, в том числе условия взвешивания и применения домкратов, чтобы обеспечить соответствие основным предельным значениям во время всех промежуточных операций. Реакции отдельных опор во время изготовления зависят от жесткости конструкций ВС и самих опор. Необходимо определить внутренние силы конструкций ВС, возникающие в результате неравномерного расположения опор.

8.11.3 Отгрузка, транспортировка и монтаж

При необходимости допускается применение специальных требований и рекомендаций в отношении морских операций, связанных с отгрузкой, транспортировкой, монтажом и т. д. в соответствии с [5].

8.12 Аварийные ситуации

8.12.1 Общие сведения

В целях обеспечения безопасности ВС необходимо при проектировании учесть требования по предотвращению, обнаружению, ликвидации и минимизации последствий аварийных ситуаций. Аварийные ситуации необходимо идентифицировать и оценить в рамках анализа рисков согласно ***ГОСТ Р 54483, ГОСТ Р 51901.1, ГОСТ Р ИСО 17776, Руководствам [6] и [7]. Анализ рисков является частью системного подхода к принятию организационно-технических решений, разработке процедур и практических мер по решению задач предупреждения и уменьшения опасности аварий для жизни людей и их здоровья, ущерба имуществу и окружающей природной среде.***

Экстремальные погодные, сейсмические и аварийные воздействия, способные оказать особенно сильное влияние на ВС морских сооружений, рассматриваются в ГОСТ Р 54485, ГОСТ Р 57123, ГОСТ Р 57148.

Для оценки устойчивости необходимо использовать предел прочности всей конструкции и ее отдельных элементов. При наличии динамических воздействий может потребоваться учет поглощения энергии за счет пластичной деформации. Помимо основных поражающих факторов аварийных воздействий, таких как ударная волна, струи газов, высокая температура, конструкция должна выдерживать воздействие обломков конструкций, оборудования, образующихся в результате взрыва.

Некоторые зоны на палубе (например, погрузочные площадки или зоны вблизи буровой вышки) могут подвергаться воздействию падающих или качающихся предметов. Оборудование, расположенное ниже этих мест, следует анализировать с точки зрения минимизации потенциального повреждения при воздействии вышеупомянутых факторов.

Если отдельные части ВС открытого и закрытого типов необходимо экранировать в местах потенциальной опасности взрыва газа, защитные боковые панели или перегородки должны обладать подходящими вышибными панелями, которые позволяют минимизировать разлет и уменьшить любое результирующее воздействие на основные элементы конструкций. Однако вышибные панели оказывают ограниченное влияние на снижение избыточного давления в больших зонах с многочисленным оборудованием. Вышибные панели не следует считать альтернативой открытому периметру, кроме случаев, когда увеличение общего риска является приемлемым. Однако их применение может оказаться необходимым в холодном климате.

Процедура выбора, схематически показанная на рисунке 1, содержит этап предварительной оценки аварийных ситуаций для исследуемых вариантов. Необходимо провести достаточно точную и всестороннюю оценку, чтобы гарантировать следующее:

а) реалистические оценки последствий используют для выбора общей схемы МНГС и уровня рисков;

б) уровни расчетных воздействий, определенные во время подробной оценки, достаточно близки к уровням, определенным в рамках третьей задачи, когда такие уровни используют при базовом проектировании; любая избыточность должна соответствовать практически осуществимым и реалистичным мерам минимизации последствий.

Элемент обеспечения безопасности определен как блок оборудования, неисправность которого при аварийной ситуации может вызвать возникновение различных опасных факторов. Например, неисправность элемента обеспечения безопасности может стать причиной пожара такой интенсивности и распространения, которые не позволят достигнуть необходимой противопожарной устойчивости других элементов обеспечения безопасности или основной конструкции.

Оптимальное проектирование с учетом элементов обеспечения безопасности подразумевает, среди прочего, следующее:

- минимизация количества элементов обеспечения безопасности путем отбора опасных элементов технологической системы или отбора структуры ВС с целью снижения вероятности распространения из одной зоны в соседние зоны;
- выбор места сооружения и ориентации элементов, критически важных для обеспечения безопасности, с целью минимизации последствий воздействия ударной волны и летящих предметов;
- выбор компоновки и местоположения элементов обеспечения безопасности с целью минимизации ускорений и смещений опор, особенно когда критически важные системы пересекают опорные конструкции, которые могут перемещаться относительно друг друга;
- если трубопроводные системы подвергают большим смещениям, необходимо уделить внимание использованию цельносварных трубопроводов или повышению класса установленного монтажа за пределы чисто технологических требований, чтобы пластическая деформация трубопроводов происходила без предварительной неисправности соединительной арматуры;
- снижение продолжительности пожара путем уменьшения времени продувки критически важных систем, например, путем слива жидкой фазы с одновременным вентилированием газовой фазы запасов опасных веществ. Для этого могут потребоваться дренажные емкости, которые должны быть расположены в надлежащим образом защищенном месте;
- учет взаимодействия между характеристиками элементов защиты и их опорами в случае взрыва. Вторичные конструкции и каркасы машинных отделений следует классифицировать в качестве первичной конструкции, если требуется, чтобы они оставались закрепленными на протяжении всего существования опасного события.

При проектировании ВС необходимо рассматривать следующие аварийные ситуации:

а) взрыв;

б) пожар;

в) столкновение с судном;

г) удары падающих и качающихся предметов, а также порванных тросов, кабелей и проводов;

д) удар вертолета (аварийная посадка или падение);

е) влияние случайного затопления вследствие повреждения отсека и т. д. (для плавучих сооружений).

Чтобы свести к минимуму вероятность возникновения и последствия аварийных ситуаций при проектировании конструкций ВС, а также выбора схемы расположения помещений и оборудования, необходимо проанализировать методы предотвращения, контроля и минимизации последствий несчастных случаев.

Схема расположения блок-модулей (в том числе оборудования) должна обеспечивать минимизацию незащищенности персонала от случайных ситуаций и их последствий. Если во время оценки рисков выявляется потенциальная опасность, конструкции ВС должны быть спроектированы таким образом, чтобы могли иметь достаточную способность противостоять данной опасности с одновременным снижением рисков нанесения вреда персоналу и окружающей среде до уровня низшей группы. При проектировании необходимо учесть запас прочности и требования безопасности. При проектировании конструкций ВС, оборудования и прикрепленных к нему критически важных элементов должна быть обеспечена конструкционная прочность и должны отсутствовать необратимые (неупругие) деформации конструкций ВС.

Основная несущая конструкция ВС МНГС является одним из элементов обеспечения безопасности, временным укрытием для персонала, местом расположения спасательных шлюпок и других элементов, важных для обеспечения безопасности персонала. Основную несущую конструкцию ВС МНГС следует проектировать с учетом сохранения достаточной целостности в случае возникновения и развития аварийных ситуаций так, чтобы обеспечить следующее:

- защита персонала в течение времени, достаточного для его эвакуации;
- защита окружающей среды в течение времени, достаточного для эффективной локализации утечек углеводородов из технологического оборудования.

Аварийная ситуация может порождать прямые или косвенные воздействия, в том числе перемещения, деформации и сильные вибрации конструктивных и критически важных элементов, таких как системы продувки, аварийного отключения, затопления, технологической обработки и трубопроводной обвязки. Необходимо проанализировать взаимодействие между ВС и ОЧ. Если внутренние силы, возникающие в результате аномальных воздействий и аварийных ситуаций, необходимо уменьшить до приемлемых уровней, для плавучих МНГС следует предусмотреть подходящие средства структурной развязки ВС от корпуса или палубы.

Конструкции перекрытий ВС МНГС должны выдерживать воздействия, вызванные аномальными и аварийными ситуациям, в том числе с возникновением повреждений, нарушающих нормальную эксплуатацию, обеспечивая при этом сохранение общей конструктивной целостности, исключающей разрушение сооружения.

Проверку проектных аварийных предельных состояний следует выполнять для каждой аварийной ситуации с учетом характерного (нормативного) значения, снижающего риски до практически приемлемого предела. Вероятность такой характерной случайной ситуации не должна превышать 10^{-4} на протяжении года. Такой уровень вероятности можно использовать в качестве индикативного значения, поскольку базис данных для точного определения этой небольшой вероятности может оказаться ограниченным и содержать значительные неопределенности.

Элементы ВС и опоры оборудования, критически важные для обеспечения безопасности, следует оценивать на устойчивость к аварийным воздействиям.

Во время оценки целостности и реакции конструкций необходимо учитывать воздействия приложенной нагрузки и собственной массы. Для аварийных предельных состояний частные коэффициенты воздействия и сопротивления допускается выбирать равными 1,0. Кроме того, оценка аварийных предельных состояний должна учитывать целостность поврежденной конструкции (расчетная ситуация после повреждения) и ее способность противостоять соответствующим внешним воздействиям. Необходимо выполнять оценку в тех случаях, когда устойчивость конструкции значительно снижена вследствие повреждения, вызванного аварией.

8.12.2 Количественная оценка аварийных ситуаций

8.12.2.1 Общие сведения

Настоящий стандарт рассматривает три уровня рисков согласно таблице 3.

Таблица 3 — Описание уровней рисков

Уровень риска	Описание
1 Низкий риск	Незначительный или минимальный риск, не требующий проведения действий (мероприятий) по его снижению, но требующий выполнения всех необходимых мер безопасности, регламентированных нормативными документами
2 Средний риск	Приемлемый риск, требующий проведения действий (мероприятий) по его снижению, которые ограничены критериями минимальной "разумной практичности"
3 Высокий риск	Риски, требующие дальнейшей минимизации последствий, модификации функций МНГС или комплектования специальным рабочим персоналом с целью снижения вероятности возникновения и/или последствий какого-либо опасного события

Процедура оценки состоит из серии оценок определенных событий, которые возможны для выбранного МНГС на протяжении его расчетного срока эксплуатации.

Процедуру оценки рисков, схематически показанную на рисунке 1, следует выполнять согласно рекомендациям настоящего подраздела, чтобы:

а) первоначально выявить МНГС, которым соответствует низкий уровень риска (первый уровень риска), благодаря чему меры по ослаблению воздействий не требуются;

б) изучить вероятности, величины и последствия аварийных воздействий, а также оценить стоимость мер по снижению рисков;

в) определить, какие меры минимизации рисков необходимы, после чего повторно оценить уровни рисков, когда критерии разумно низких уровней не выполняются без минимизации последствий.

Процедура оценки (см. рисунок 1) состоит из целого ряда действий, которые необходимо выполнить, чтобы идентифицировать риски, связанные с МНГС (последствия возгораний или взрывов, ударная нагрузка или затопления отсеков), и провести подходящую оценку конструкций.

Перечисленные ниже задачи оценки следует читать совместно с рассмотрением рисунков 2 и 3, а также таблицы 4:

- первая задача. Для каждой аварийной ситуации поочередно оценить порядок величины вероятности определенного опасного события. Определение вероятности опасных событий может выполняться на основе анализа статистики их возникновений, однако следует учитывать ограничения и погрешности таких оценок;

- вторая задача. На основе описания, содержащегося в таблице 4, оценить вероятность нанесения ущерба персоналу для определенной аварийной ситуации, после чего определить уровень риска (1, 2 или 3) для рассматриваемой ситуации. Во многих случаях может потребоваться структурная оценка ситуации, чтобы определить потенциальные последствия (см. рисунки 2 и 3). Для ситуаций с первым уровнем риска оценку считают законченной на этом этапе, поэтому необходимо рассмотреть следующую случайную ситуацию;

- третья задача. Для второго и третьего уровней рисков необходимо точнее определить риски, последствия, возможные меры их предотвращения, а также стоимость таких мер. Минимизация рисков возможна за счет изменения состава оборудования или рабочих процедур с целью снижения вероятности конкретного события, а также путем внесения изменений в конструкции или оборудование при необходимости снижения тяжести последствий опасного события. После определения перечня и оценки стоимости возможных мер по минимизации последствий необходимо сопоставить расходы с выгодами от снижения рисков, чтобы установить, удовлетворяются ли критерии минимального практически приемлемого уровня риска (ALARP). Третья задача процедуры оценки, схематически показанной на рисунке 1, может потребовать количественного определения выявленных значимых аварийных воздействий или ссылки на похожие проекты МНГС, для которых такие воздействия подробно проанализированы ранее. При сравнении подобных МНГС может потребоваться сравнение различных факторов (погодных статистических данных), например для ветра, способного повлиять на увеличение и рассеяние газового облака;

- четвертая задача. При необходимости предпримите меры по снижению рисков и повторите оценку рисков.

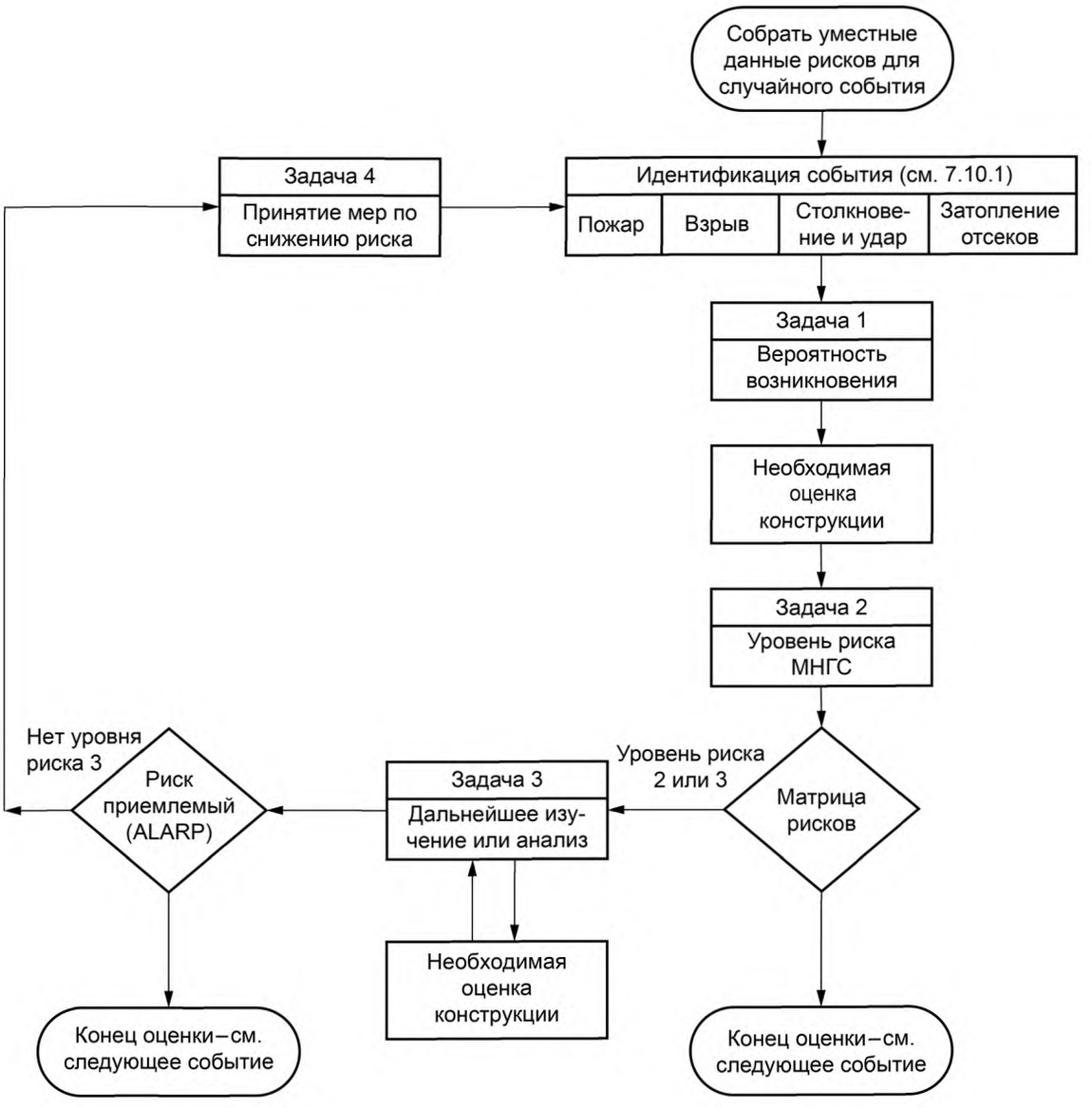
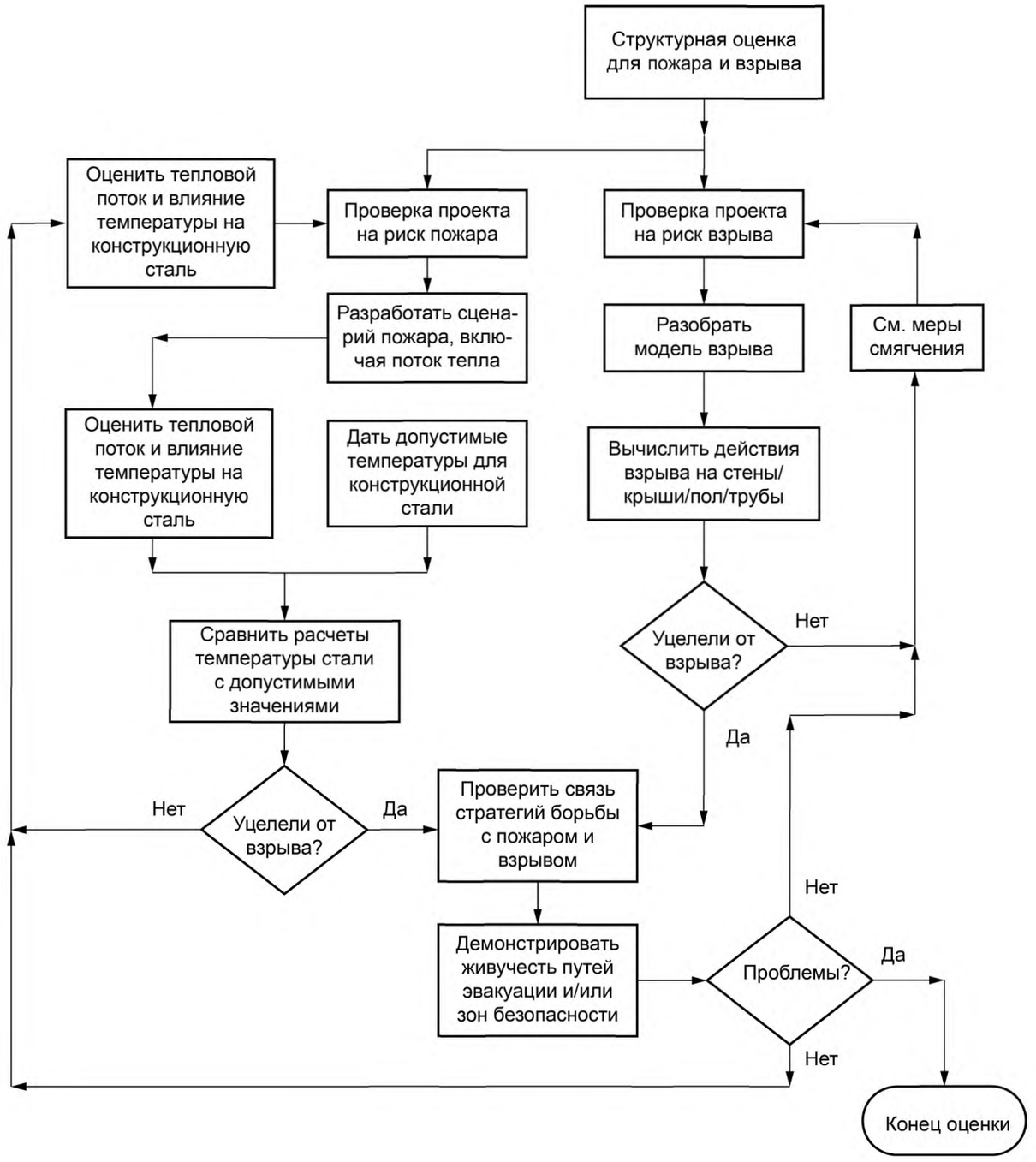
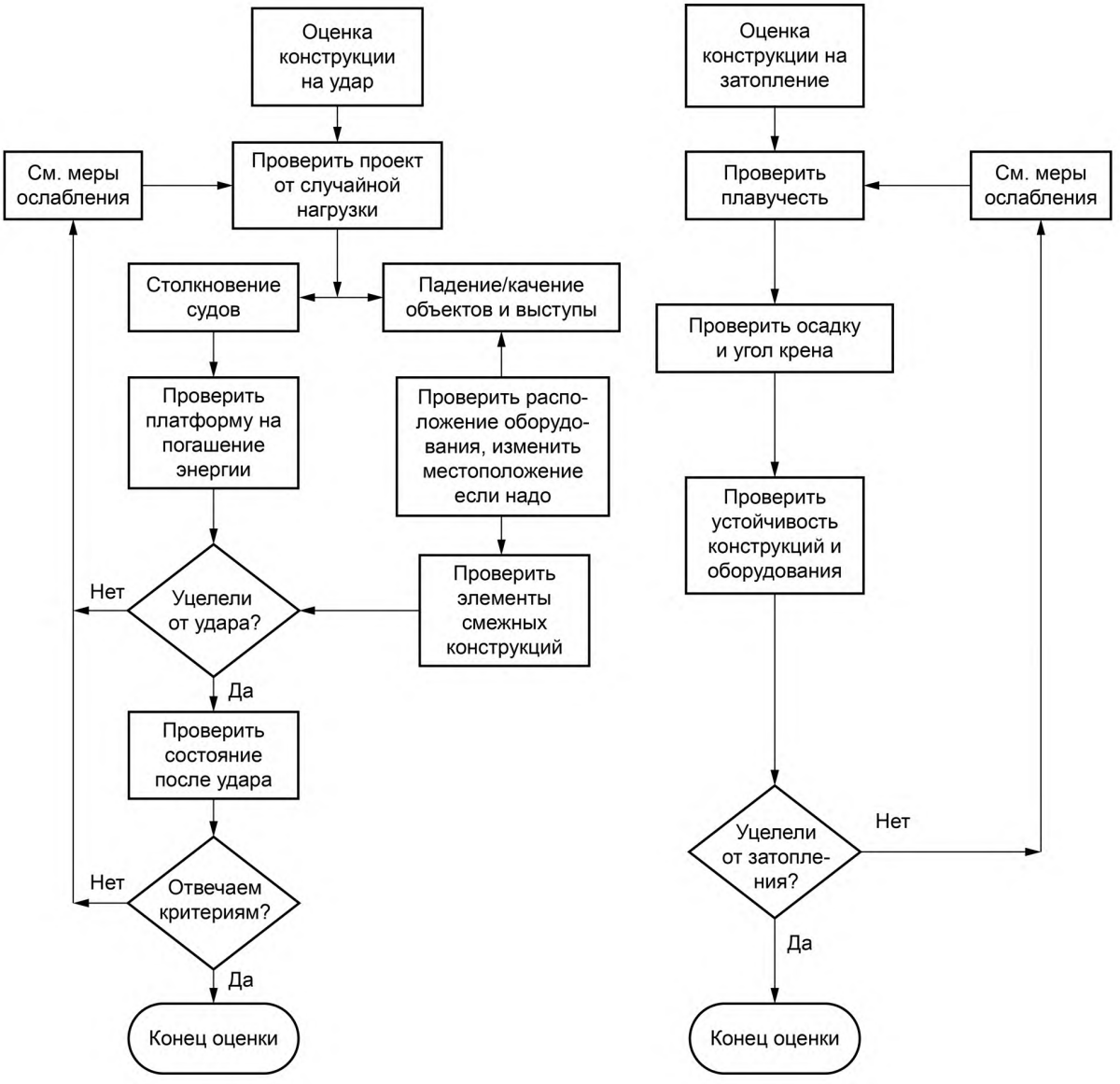


Рисунок 1 — Оценка аварийных ситуаций



Примечание — Сохранение работоспособности указывает на отсутствие потери эксплуатационной пригодности элементов, критически важных для обеспечения безопасности.

Рисунок 2 — Подробная оценка конструкций, подвергающихся воздействию пожаров и взрывов



Примечание — Сохранение работоспособности указывает на отсутствие потери эксплуатационной пригодности элементов, критически важных для обеспечения безопасности.

Рисунок 3 — Подробная оценка конструкций, подвергающихся случайным ударам и затоплениям

8.12.2.2 Вероятность возникновения и опасность аварийных ситуаций

Вероятность возникновения пожара, взрыва, ударной нагрузки или затопления связана с их первопричиной, температурой воспламенения (пожары и взрывы), источником удара (прочие случайные ситуации), местом затопления и потенциалом распространения. Наличие источника углеводородов определенного типа может стать дополнительным фактором инициирования или распространения опасного события. Вероятностные уровни опасных событий обычно определяют с помощью анализа рисков.

Ниже перечислены факторы, влияющие на вероятность возникновения и тяжесть аварийной ситуации:

- тип продукции.

При оценке вероятности возникновения опасного события необходимо учитывать тип продукции (например, газ, конденсат, легкая или тяжелая нефть);

- тип операции.

При оценке вероятности возникновения опасного события необходимо учитывать следующие типы операций, выполняемые на МНГС: бурение, добыча, сепарация, подготовка, замер, транспортировка продукции на берег, эксплуатационный контроль, модернизация, техническое обслуживание, обработка судов снабжения, грузоподъемные операции, перевозка персонала и т. д. Одновременные операции подразумевают выполнение двух или более видов деятельности;

- конструктивные особенности палуб и перегородок.

Необходимо учитывать способность палуб, перегородок и других элементов конструкции ограничивать облако испарений. Вопрос об открытой или закрытой конфигурации МНГС следует рассмотреть при оценке вероятности возникновения опасного события. Большинство МНГС, эксплуатируемых в условиях умеренного климата, имеют открытую конструкцию, обеспечивающую естественную вентиляцию. Палубы МНГС для более суровых климатических условий зачастую имеют закрытую конструкцию, что повышает вероятность накопления и ограничения взрывоопасных паров и более высокого избыточного давления взрыва при их воспламенении;

- тип оборудования.

Сложность, количество и тип оборудования имеют существенное значение. При оценке вероятности возникновения опасного события необходимо учитывать сепарационное и измерительное оборудование, насосы и компрессоры, нагреватели, генераторы, защитное оборудование, трубопроводы и клапаны;

- загромождение пространства оборудованием.

Вихревые потоки, создаваемые оборудованием, конструкциями, трубопроводами, кабельными желобами и т. п. объектами, могут приводить к возникновению высокого избыточного давления в случае взрыва при наличии или отсутствии заграждений;

- местоположение МНГС.

Близость МНГС к судоходным маршрутам может увеличить вероятность столкновения с проходящими судами;

- разделение на отсеки.

На увеличение аварийной осадки и крена/дифферента после аварийного затопления нескольких водонепроницаемых отсеков плавучего МНГС, главным образом оказывает влияние объем внутреннего пространства этих отсеков, а также наличие средств управления балластировкой плавучего сооружения;

- прочие факторы.

Необходимо принимать во внимание прочие факторы (например, периодичность швартовки судов снабжения, тип и периодичность тренировок персонала и т. д.).

8.12.2.3 Оценка рисков

8.12.2.3.1 Общие сведения

Случайным возгораниям и взрывам присваивают максимальные уровни рисков для конкретного МНГС (см. таблицу 4). Определения уровней рисков сформулированы на основе вероятностей аварийных ситуаций и их возможных последствий.

При проектировании конструкций ВС МНГС аварийные ситуации с первым и вторым уровнями рисков следует рассматривать в качестве расчетных нагрузок.

8.12.2.3.2 Таблица рисков

Таблица уровней рисков (см. таблицу 4) помогает определить приемлемость рисков конкретных аварийных ситуаций и преимущественно используется для выявления ситуаций с низкими рисками, которые не нуждаются в дальнейшей оценке в отличие от ситуаций, требующих детального исследования и возможных мер противодействия. Необходимо документировать процедуры отбора и оценки, принимая во внимание консерватизм используемых данных и влияние на результат изменений и допущений.

Таблица 4 — Уровни рисков для аварийных ситуаций

Годовая повторяемость f		Возможные последствия для безопасности человека и окружающей среды					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		Нет значительного риска для персонала и нет значительного риска для окружающей среды	Травмирование с временной потерей трудоспособности, но нет значительного риска для окружающей среды	Худшее: серьезный ущерб для отдельных работников или ограниченный сброс нефти или химикатов в море	Худшее: одиночный несчастный случай или большая утечка нефти или химикатов в море	Худшее: несколько несчастных случаев (от 2 до 5) или большая утечка нефти или химикатов в море	Худшее: много несчастных случаев (> 5) или утрата МНГС
Часто	$1 \le f$	Второй уровень риска	Второй уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска
Иногда	$10^{-1} \le f < 1$	Первый уровень риска	Второй уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска
Нечасто	$10^{-2} \le f < 10^{-1}$	Первый уровень риска	Второй уровень риска	Второй уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска
Редко	$10^{-3} \le f < 10^{-2}$	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Второй уровень риска	Второй уровень риска	Третий уровень риска	Третий уровень риска
Очень редко	$10^{-4} \le f < 10^{-3}$	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Второй уровень риска	Второй уровень риска	Третий уровень риска
Маловероятно	$f < 10^{-4}$	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Первый уровень риска	Второй уровень риска	Второй уровень риска

8.12.3 Аварийные ситуации, связанные с углеводородами

Взрывы и пожары способны повредить оборудование, а также могут частично или полностью разрушить ВС и другие конструкции, что повлечет человеческие жертвы и/или загрязнение окружающей среды.

Проектирование ВС с учетом возможных взрывов и пожаров требует применения многоотраслевого подхода к разработке и реализации подходящей процедуры управления безопасностью. Возможны следующие этапы проектирования:

- определение стандартов общих систем и рабочих характеристик элементов, критически важных для обеспечения безопасности ВС;
- оценка и минимизация вероятности утечек углеводородов;
- оценка и минимизация вероятности воспламенения;
- оптимизация схемы размещения оборудования и конструкций с целью минимизации потенциальных воздействий взрывов и/или пожаров;
- рассмотрение возможности ослабления воздействий потенциальных взрывов и/или пожаров;
- количественная оценка потенциальных воздействий взрывов и пожаров;
- проектирование элементов и конструкций, критически важных для конструктивной (пассивной) защиты с учетом предварительно установленных технических характеристик;
- подтверждение существования безопасных зон (используются подходящие и достаточные оценки пожаров и взрывов) и доступных маршрутов эвакуации, удовлетворяющих критериям функционирования и возможности выживания при расчетном аварийном воздействии;
- проектирование противопожарного оборудования и средств противопожарной сигнализации с учетом прогнозируемой интенсивности пожаров.

8.12.4 Взрывы

8.12.4.1 Общие сведения

Во многих случаях проектирования ВС (например, для больших и сложных МНГС, работающих в неблагоприятных климатических условиях) нерационально учитывать все варианты возможных взрывов, поэтому необходимо найти баланс между вероятностью взрывов различной мощности и мерами по обеспечению достаточной устойчивости к таким взрывам.

В рамках анализа потенциальных технологических опасностей необходимо разрабатывать сценарии взрывов. Для каждой зоны ВС следует определить предельное значение вероятности превышения конкретного значения избыточного давления взрывной волны. Предельную значимую вероятность избыточного давления взрывной волны (часто принимают равной 10^{-4} на протяжении года) следует считать минимальным значением, используемым для целей проектирования.

Сценарий взрыва позволяет устанавливать распределения размеров и характеристик возможных паровых облаков, а также идентифицировать потенциальные источники воспламенения в оцениваемой зоне. К категории потенциальных источников воспламенения относятся: электрическое оборудование, измерительные системы, горячие поверхности и статическое электричество. Необходимо уделить внимание минимизации вероятности воспламенения, в том числе заземлению токопроводящего оборудования, которое иначе изолируется электрически от конструкций ВС.

Необходимо проанализировать результаты возможного отклика конструкции на воздействие взрывной волны. При анализе допускается учитывать воздействия деформаций или иных смещений оборудования и элементов конструкции во время открывания вентиляционных каналов, импульсного или ударного нагружения, увеличения локальных воздействий и динамического усиления, а также во время снятия, перераспределения и смещения нагрузки.

Избыточное давление взрывной волны зависит от пяти основных контролируемых параметров:

ограничение стенками, палубами и крупногабаритным оборудованием;

- плотность расположения оборудования, трубопроводов, строений и кабельных желобов;
- объем газовоздушного облака, которое образуется при выбросе углеводородов;
- состав и концентрация газовоздушного облака, которое образуется при выбросе углеводородов;
- место воспламенения.

В рамках процедуры подробной оценки взрывов (см. рисунок 2) необходимо предусматривать подходящие меры безопасности и детализировать загромождение пространства. Для этого следует использовать репрезентативные газовоздушные облака (с учетом изменения местоположения источника возгорания в пределах облака). Для выполнения последнего из двух требований используют два возможных подхода:

а) наихудший случай газовых облаков, содержащих стехиометрические смеси, когда определенно или вероятно, что результирующие воздействия умеренны;

б) распределение газовых облаков с соответствующими вероятностями, когда результирующие воздействия и их вероятности можно представить в виде серии кривых, демонстрирующих диапазон избыточных давлений с их вероятностями (этот подход особенно эффективен для случаев, когда установлены вероятностные критерии приемки).

Оценка взрывов должна подтвердить возможность сохранения маршрутов эвакуации и безопасных зон.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.1 (приложение А).

8.12.5 Пожары

Если при проектировании обнаруживают существование значительной опасности возгорания, пожары следует рассматривать в качестве варианта нагрузки. Сценарии пожаров следует разрабатывать в рамках анализа потенциальных технологических опасностей. Пожар считают расчетной случайной ситуацией, если во время оценки обнаружено, что вероятность значительного возгорания превышает 10^{-4} на протяжении года.

Оценка конструкций должна подтвердить сохранение маршрутов эвакуации и безопасных зон в течение времени, достаточного для эвакуации персонала с МНГС и реализации планов ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.2 (приложение А).

8.12.6 Взаимосвязь между взрывом и пожаром

Пожары и взрывы могут происходить в рамках общего события, например во время утечки может образоваться газовое облако, способное взорваться при наличии источника возгорания. После взрыва первоначальная утечка может остаться в виде пожара. Взрыв после пожара маловероятен в случае отсутствия дополнительных выбросов взрывоопасных веществ. Необходим совместный анализ взрывов и пожаров, а также учет их взаимного влияния друг на друга.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.3 (приложение А).

8.12.7 Столкновение с судном

Если во время оценки выявлен высокий (т. е. потенциально неприемлемый) риск столкновения с судном, необходимо учесть влияние столкновения на оборудование и конструкцию ВС. Данное требование особенно важно в тех случаях, когда несущая конструкция блок-модулей или интегрированная палуба участвует в обеспечении прочности всего МНГС. Кроме того, необходимо исследовать согласно 8.12.10 влияние результирующей сильной вибрации.

8.12.8 Удары падающих и качающихся предметов

Определенные места (например, области расположения кранов) могут оказаться потенциально опасными вследствие падения или раскачивания грузов. Вероятность возникновения таких опасных событий можно снизить за счет спецподготовки персонала и соблюдения правил техники безопасности.

Последствия повреждений могут быть минимизированы благодаря специальному расположению и обеспечению защиты оборудования и критически важных зон МНГС. Во время реализации технологических процессов необходимо минимизировать перемещение грузов над персоналом.

МНГС должно сохранять работоспособность после падения грузов, поднимаемых в рамках технологических процессов.

Потенциальное воздействие зависит от операций, осуществляемых на ВС. Необходимо определить суммарную вероятность возникновения аварийной ситуации. Ситуации, которые способны повлечь неприемлемые воздействия и которые нельзя исключить вследствие периодичности возникновения, следует считать расчетными аварийными ситуациями. Необходимо предпринять меры по защите средств обеспечения безопасности МНГС от любых подобных аварийных ситуаций или изменить технологические процессы, чтобы снизить вероятность их возникновения.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.4 (приложение А).

8.12.9 Потеря остойчивости

Для плавучих МНГС необходимо учитывать аварийные ситуации, связанные с повреждением отсеков плавучего корпуса. Необходимо проанализировать воздействие любого крена или дифферента,

чтобы убедиться в отсутствии потери остойчивости или целостности конструкции ВС, в том числе опор оборудования. Анализ допускается выполнять в соответствии с требованиями ***[1]***.

8.12.10 Вибрации

При проектировании новых и оценке существующих сооружений, подвергающихся воздействиям первого и второго уровней, сильные вибрации следует рассматривать в качестве аварийных ситуаций. Вибрации могут возникать вследствие случайных ударных воздействий газовых взрывов, столкновений с судном, вынужденной или аварийной посадки вертолетов, внезапного повреждения нагруженных тросов, экстремальных погодных и сейсмических условий. Ответная реакция морских сооружений на сейсмические явления рассмотрена отдельно в 8.10.

Вибрации могут распространяться от места инициирующего события через конструкцию сооружения и оказывать воздействие на другие части ВС, такие как фермы, буровые вышки и вертолетные ПП, а также на системы обеспечения безопасности МНГС. Необходимо учесть повреждение или чрезмерную деформацию отдельных элементов, способных приводить к неисправности критически важных систем обеспечения безопасности. К числу средств обеспечения безопасности, которые легко подвержены вибрационным повреждениям, относят: устройства аварийного отключения, системы аварийного энергоснабжение и связи, датчики обнаружения газа и пожара, системы противопожарной защиты, оборудование для эвакуации и спасения.

Трубопроводы и стояки могут утратить герметичность при чрезмерных относительных изгибах между блок-модулями или под воздействием больших динамических нагрузок. При больших горизонтальных воздействиях возможно повреждение опор блок-модулей и их соединений. Кроме того, возможно повреждение соединений между узлами и опорными конструкциями оборудования. Аппаратные средства управления, такие как компьютеры, микропроцессоры и средства связи, могут оказаться особенно восприимчивыми к высокочастотным вибрациям.

Опоры труб, кабелей и оборудования могут подвергаться сильным деформациям или разрушению. Сильные деформации жилых модулей, маршрутов эвакуации и вертолетных ПП могут препятствовать эвакуации и спасению персонала.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.5 (приложение А).

8.13 Прочие воздействия

8.13.1 Буровые работы

Буровые работы создают воздействия, которые передаются от буровой вышки к ВС. Описание наиболее часто возникающих воздействий дано ниже:

а) изменение положений буровой установки при выполнении бурения (необходимо рассматривать совместно с соответствующими внешними воздействиями, чтобы обеспечить идентификацию всех максимальных сил в опорных конструкциях);

б) ликвидация прихвата (осложнение);

в) масса наиболее тяжелой технической обсадной колонны;

г) перемещение нижней части буровой установки по основанию бурового портала и самого портала по встроенным балкам палубы (необходимо учитывать соответствующее положение буровой, чтобы учесть максимальные напряжения в результате всех возможных относительных положений оцениваемых конструкций);

д) при наличии экстремальных условий окружающей среды буровые работы могут приостанавливаться, что необходимо учитывать во время оценки подходящих комбинаций воздействий.

8.13.2 Направления скважин

Опоры направлений должны учитывать осевое смещение при тепловом расширении (в том числе эффекты теплового расширения колонны скважины) и неравномерность осадки МНГС и направления. Радиальное смещение направлений в пределах направляющих необходимо минимизировать, чтобы уменьшить воздействие боковых смещений и толчков. Воздействия волн, течений и вихревых вибраций, которым подвергаются направления, могут передаваться направляющей нижней палубы, поэтому такие воздействия подлежат обязательному учету.

8.13.3 Стояки подводных трубопроводов

Помимо обычных воздействий, обусловленных массой, опоры стояков должны выдерживать воздействия волн, течений и вихревых вибраций, а также тепловое расширение и динамический отклик потоков, транспортируемых по стоякам. Необходимо минимизировать радиальное смещение стояков в пределах направляющих, чтобы уменьшить влияние боковых смещений и толчков.

8.13.4 Кессоны

Помимо обычных воздействий, обусловленных массой, опоры кессонов должны выдерживать воздействия волн, вибраций работающих насосов и потоков жидкостей, а также частные воздействия, связанные с монтажом или вводом в эксплуатацию МНГС. Необходимо учесть внутреннюю/внешнюю коррозию, поскольку она является основной причиной разрушения кессонов. Необходимо минимизировать радиальное смещение кессонов в пределах направляющих, чтобы уменьшить влияние боковых смещений и толчков.

8.13.5 Техническое обслуживание, вспомогательные механические и подъемные устройства

Проектируемые конструкции должны выдерживать воздействия, обусловленные проведением технического обслуживания оборудования, испытаниями под гидростатическим давлением и применением механических подъемных устройств. В частности, необходимо идентифицировать основные маршруты и средства перемещения тяжелого оборудования, при этом опорные конструкции, анализируемые на устойчивость к таким воздействиям (в комбинации с обычными воздействиями), не должны подвергаться неприемлемым комбинациям воздействий. Необходимо позаботиться о том, чтобы колеса тележек не продавливали настил палубы в местах возможного скопления жидкостей.

Если вспомогательные подъемные устройства (подкрановый путь, грузоподъемные стрелы, проушины, рымы и т. д.) прикреплены к основной или вспомогательной конструкции, необходимо рассмотреть их влияние на прочность и устойчивость сооружения. Особое внимание следует уделить потенциально негативному влиянию на локальную устойчивость перегородок и фланцев в случае неравномерного расположения опор балок.

8.13.6 Опоры переходных мостов

Конструкции ВС должны выдерживать постоянные и переменные воздействия, передаваемые от переходных мостов к другим конструкциям.

Необходимо учитывать следующее:

а) потенциальные воздействия в точке расположения опор переходных мостов с учетом допусков на расположение;

б) потенциальные воздействия, обусловленные монтажом и демонтажом временных переходных мостов;

в) потенциальные воздействия, обусловленные ограничениями на неравномерные перемещения соединяемых МНГС во всех степенях свободы (уделяется внимание волновым воздействиям, совпадающим и не совпадающим по фазе в разные периоды колебаний);

г) потенциальные воздействия, обусловленные ограничениями накладываемыми на перемещения трубопроводов, проложенных по переходному мосту;

д) любые воздействия домкрата, которые прикладываются во время операций технического обслуживания, например, при замене опорной конструкции пролетного строения переходного моста.

9 Прочность и сопротивление элементов конструкций

9.1 Общие требования

Общие требования, применяемые к отдельным элементам и конструкции в целом:

$$R_D \geq S_d, \tag{7}$$

где R_D — расчетное значение сопротивления (допустимые напряжения);

S_d — расчетное значение прикладываемой нагрузки (внутренней силы, момента и т. д.), определяемое расчетными воздействиями,

или

$$\frac{R_K}{\gamma_R} \geq S_d, \tag{8}$$

где R_K — характерное (нормативное) сопротивление конструкции или элемента;

γ_R — частный коэффициент сопротивления (коэффициент безопасности).

Настоящий стандарт позволяет использовать характерные воздействия F_r вместе с частными коэффициентами воздействия γ_f с целью определения расчетного значения прикладываемой нагрузки. Кроме того, можно использовать любой соответствующий документ по стандартизации или правила классификационного общества, чтобы вывести характерные сопротивления элементов R_K вместе с подходящими частными коэффициентами сопротивления γ_R.

9.2 Проектирование конструкций из цилиндрических элементов

Для проектирования конструкций из цилиндрических трубчатых элементов необходимо использовать требования, содержащиеся в документах по стандартизации, применяемых при проектировании зданий, мостов или других строительных конструкций.

9.3 Проектирование конструкций из нецилиндрических элементов

9.3.1 Общие сведения

Уравнения прочности, используемые при проектировании конструкций из элементов нецилиндрической формы, необходимо принимать на основе требований соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил) вместе с подходящими частными коэффициентами воздействий (см. 8.3).

9.3.2 Расчет двутавровой балки со сплошной стенкой

Двутавровые балки следует рассчитывать с учетом требований соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил) см. А.6.2 (приложение А). При наличии концентраторов напряжений (например, резкие изменения сечения, вырезы, прорези для домкратов и т. д.) необходимо учитывать их влияние на усталость и разрыв. Толщина ребер неподкрепленных двутавровых балок со сплошной стенкой должна быть не менее 1,25 % глубины ребра или 6 мм. Для расчета берут большее из двух значений.

9.3.3 Секции коробчатых балок

Коробчатые балки следует рассчитывать с учетом требований соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил) см. А.6.3 (приложение А). Особое внимание необходимо уделять внутреннему упрочнению коробчатой балки с перегородками или другими элементами для облегчения изготовления по критерию эффективность-стоимость и ослабления влияния сварочных деформаций и деформаций, вызванных механическими напряжениями.

9.3.4 Конструкции с армированными элементами жесткости

Ребра продольно усиленных двутавровых и коробчатых балок следует рассчитывать с учетом требований соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил) [см. А.6.4 (приложение А)].

9.3.5 Конструкции несущей обшивки

Конструкции несущей обшивки допускается проектировать на основе предположения о том, что обшивка сопротивляется только поперечным силам, а все осевые силы воздействуют на несущую конструкцию [см. А.6.5 (приложение А)]. Если конструкцию несущей обшивки подвергают циклическим воздействиям, необходимо проанализировать возможные отрицательные последствия повторяющихся продольных изгибов.

9.4 Соединения

9.4.1 Общие сведения

Соединения следует рассчитывать согласно требованиям соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил), которые применяют для расчетов строительных конструкций.

9.4.2 Ограничения при проектировании сварных соединений

Необходимо минимизировать пластическое поведение элементов сварных конструкций и чрезмерную концентрацию сварочных напряжений. Кроме того, расположение элементов сварных конструкций должно обеспечивать удобный доступ для выполнения сварочных работ.

Сварные соединения должны назначаться с учетом минимизации механических напряжений, обусловленных усадкой наплавленного металла и прилегающего металла основы при охлаждении. Особое внимание необходимо уделять случаям, когда усадочная деформация по толщине может привести к расслаиванию сильно ограниченных соединений.

9.4.3 Болтовые соединения

Использование болтовых соединений допустимо в тех случаях, когда применение сварки нежелательно. При применении болтовых соединений в конструкциях, подвергающихся прямому воздействию

морских брызг, необходимо принятие мер по обеспечению надежности данного соединения на весь срок его эксплуатации.

При условии применения подходящих процедур обеспечения безопасности болтовые соединения допускается использовать при выполнении работ на действующих МНГС без проведения огнеопасных работ.

В общем случае допускается использовать болтовые соединения, спроектированные на основе требований соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил). Для значительных и длительных переменных механических напряжений необходимо использовать высокопрочные фрикционные болтовые соединения.

При использовании болтовых соединений необходимо соблюдать следующие требования и рекомендации:

- эффективная длина болта (от нижней стороны головки до гайки) должна минимизировать последствия деформаций при снижении механических напряжений внутри болта;
- необходимо рассчитать снижение предварительного натяжения из-за деформаций с учетом эквивалентной 50%-ной деформации исходного предварительного натяжения. Кроме того, необходимо обеспечить закругление краев отверстий под болты, при этом само соединение должно быть полностью герметизировано долговечным герметизирующим материалом и/или долговечной покраской;
- для минимизации разрушения покрытий необходимо наличие шайб под гайками и головками болтов;
- необходимо предусмотреть технические решения по защите болтовых соединений от коррозии. Необходимо обеспечить надежную защиту болтов от механических повреждений.
- необходимо предусмотреть регулярную проверку болтовых соединений.

9.5 Отливки

Отливки допускается использовать для изготовления сложных по форме элементов (например, проушин, опорных конструкций, переходных элементов и т. д.). Расчет геометрической формы отливок требует использования подходящего численного анализа, а также наличия технических требований к проектированию и производству. Требования должны содержать критерии приемки по предельным механическим напряжениям и степени пластической деформации в областях выше предела текучести. Для сложных отливок, подверженных значительным усталостным воздействиям, необходимо оценить локальное максимальное напряжение, чтобы определить усталостные характеристики элемента.

Для обеспечения свариваемости и предотвращения коррозии свойства материала отливки должны быть совместимы со свойствами материалов основных конструкций. При необходимости испытания на свариваемость необходимо проводить до изготовления отливок.

10 Конструктивные элементы верхних строений

10.1 Проектирование верхних строений

10.1.1 Общие сведения

При выборе расчетных нагрузок на ВС должны быть рассмотрены все возможные наихудшие сочетания нагрузок, составленные на базе постоянных, временных (длительных), кратковременных и особых нагрузок и воздействий, при которых возможны наибольшие реакции в конструкциях.

При оценке прочности конструкций ВС необходимо учитывать, что часть действующих на сооружение нагрузок (например, со стороны окружающей среды) воспринимается ОЧ.

10.1.2 Верхние строения морских нефтегазопромысловых сооружений с железобетонными опорными частями

При проектировании ВС особое внимание необходимо уделить взаимодействию между металлоконструкциями ВС и железобетонными ОЧ. В зависимости от данного взаимодействия определяют конструкцию ВС и ее способность воспринимать внешние нагрузки, передающиеся на ВС через ОЧ. В проектных решениях необходимо проработать узлы сопряжения металлоконструкций ВС и железобетонной ОЧ.

Также рекомендуется уделить внимание отклику всего сооружения на значительные внешние воздействия (волна, лед, ветер), при этом рекомендуется оценить значение любых вызывающих усталость воздействий, возникающих в ВС.

10.1.3 Верхние строения морских нефтегазопромысловых сооружений с плавучим корпусом

При проектировании ВС особое внимание необходимо уделить взаимодействию между металлоконструкциями ВС и корпусом плавучих МНГС. Деформации корпуса под воздействием окружающей среды, грузов и балласта могут оказаться значительными, поэтому следует учитывать во время проектирования точек опирания ВС. Для узлов сопряжения металлоконструкций ВС с плавучим корпусом может потребоваться использование скользящих опор.

10.2 Конструкции верхних строений

10.2.1 Общие сведения

Характеристики внутренних усилий в элементах конструкций, как правило, определяют с помощью методологии трехмерного структурного анализа. В общем случае достаточно использовать модель линейно-упругой конструкции ВС. Жесткость ОЧ может влиять на распределение силы в узлах сопряжения ВС.

10.2.2 Модель опорной части для проектирования верхних строений

ОЧ следует моделировать детально, чтобы обеспечить отсутствие влияния упрощения узлов сопряжения ОЧ и ВС на характеристики ВС. При моделировании также может потребоваться учет характеристик фундамента ОЧ. Упрощение должно позволять учитывать вертикальную и горизонтальную жесткости ОЧ вместе с реакцией на ее конструкции и главными колебаниями при эксплуатационных воздействиях.

10.2.3 Модель верхних строений для проектирования верхних строений

ВС можно моделировать с использованием одной или нескольких независимых конструкций, что позволяет имитировать реальную последовательность изготовления и монтажа. Необходимо проанализировать взаимодействие между отдельными конструкциями, а также предусмотреть дифференциальные отклонения в случае их значительного влияния на рабочие характеристики конструкций, особенно на условия эксплуатационной пригодности. Следует учесть последовательность определения напряжений, возникающих в жестко соединенных конструкциях при изготовлении и монтаже.

Если модель используют для описания предэксплуатационных условий, необходимо применить соответствующие граничные условия, характеризующие жесткость опор. При использовании модели с целью описания условий транспортировки необходимо применить соответствующие ускорения и смещения.

10.2.4 Модель опор оборудования и трубопроводов

Локальные опоры трубопроводов и отдельных блоков оборудования в общем случае можно смоделировать по отдельности. Если относительные смещения и отклонения между частями оборудования или между блоками могут повлиять на целостность соединительных трубопроводов, такие трубопроводы и их опоры необходимо проверять на последствия влияния взаимодействий. Для трубопроводов между блоками необходимо изучить прогибы, обусловленные переменными, экстремальными и аномальными нагрузками, действующими на сооружение в целом.

10.3 Конструкции узлов сопряжения верхних строений и опорных частей

10.3.1 Ответственность

Все отклонения в отношении узлов сопряжения между ВС и ОЧ необходимо задокументировать.

10.3.2 Расчет статической прочности

Обеспечение общей целостности МНГС является главным условием, предъявляемым к узлам сопряжения ВС и ОЧ. Узлы сопряжения должны быть надежными. При моделировании конструкции узлов сопряжения должны отражать работу реальных конструкций.

10.3.3 Расчет усталости

Расчеты усталости необходимо выполнять при наличии существенных переменных (циклических) нагрузок, воздействующих на узлы сопряжения ВС и ОЧ, которые могут привести к явлению усталости. Модели конструкций, используемые для расчета усталости, должны учитывать все основные жесткости конструкций таким образом, чтобы жесткость модели была идентична жесткости реальной конструкции. Для деформируемых ОЧ анализ на усталость должен учитывать влияние деформирования ОЧ, жесткость точек опоры и изменения направления воздействий, обусловленных смещениями и деформациями ОЧ.

10.4 Конструкции сигнальных мачт, факельных стрел, стрел грузоподъемных кранов и аналогичные конструкции

Настоящий подраздел содержит требования, предъявляемые к отдельным конструкциям, основные нагрузки на которые оказывают переменные воздействия.

Сигнальные мачты, факельные стрелы, стрелы кранов и другие конструкции могут оказаться восприимчивыми к глобальным и локальным резонансным откликам, которые обусловлены следующими обстоятельствами:

- глобальные и локальные воздействия ветра;
- тепловые воздействия со стороны факела, в том числе циклическое изменение температуры;
- сейсмические воздействия;
- случайные воздействия;
- косвенные воздействия волн и течений на ОЧ.

Вихревые вибрации основных элементов конструкции и/или сопряженных трубопроводов могут порождать глобальные вибрации. Необходимо определить наличие собственных гармоник вибраций конструкций в целом или их критически важных элементов.

Анализ поведения отдельных трубчатых элементов конструкций, на которые воздействует ветровая нагрузка, можно проводить с учетом следующих допущений:

а) соотношение длины и диаметра элементов конструкции не должно превышать 40;

б) отношение диаметра к толщине элементов конструкции должно удовлетворять условию:

$$D/\delta < 33, \qquad (9)$$

где δ — толщина элемента конструкции;

в) коэффициент концентрации напряжений не должен превышать 5.

На статические и динамические характеристики таких конструкций могут оказывать существенное влияние снежные и ледяные покровы, что необходимо учитывать при проектировании. Снежные и ледяные покровы могут усиливать ветровые и переменные воздействия. Такие воздействия необходимо объединить с воздействиями ветра, создаваемыми на протяжении типичного периода повторяемости.

Толщину и плотность снежных и ледяных покровов следует определять на основе характеристик окружающей среды конкретной местности. Для вычислений можно использовать упрощенные профили накопления.

10.5 Конструкции вертолетных посадочных площадок

10.5.1 Общие сведения

Проектирование и оснащение вертолетных посадочных площадок (ПП) должны отвечать требованиям ***[8]—[10].***

ПП должны иметь достаточные габариты и характеристики прочности. Расположение ПП должно обеспечивать возможность приземления любого потенциально используемого вертолета.

Конструкция ПП должна выдерживать ударное воздействие при аварийной посадке вертолета и обеспечивать эксплуатационные характеристики при различных предельных состояниях.

Необходимость базирования вертолета на МНГС определяет заказчик.

10.5.2 Конструкция

ПП допускается изготовлять из стали, алюминиевого сплава или других материалов. Процессы проектирования и изготовления ПП должны соответствовать требованиям ***[8]—[10]***. При использовании разнородных материалов необходимо обеспечить отсутствие электрохимической коррозии в местах их соединения.

ПП должна быть выполнена с уклоном 1:100, и на ней необходимо предусмотреть дренажную систему для обеспечения стока воды, выполненную с учетом требований защиты окружающей среды.

10.5.3 Проектные воздействия и сопротивления

10.5.3.1 Расчетные ситуации

Нагрузки, действующие на ПП со стороны вертолетов необходимо рассматривать в сочетании с другими постоянными, переменными и внешними воздействиями. Сочетания нагрузок необходимо рассматривать для следующих ситуаций:

- аварийная посадка (см. 10.5.3.3);
- нахождение вертолета в неподвижном состоянии (см. 10.5.3.4).

10.5.3.2 Технические требования

Конструкция ПП должна быть спроектирована для следующих основных и предельных состояний эксплуатационной пригодности, применимых к рассматриваемым структурным элементам:

- настил ПП и элементы жесткости;
- основные предельные состояния при любых условиях;
- предельные состояния эксплуатационной пригодности для постоянной деформации после аварийной посадки;
- опорная конструкция вертолетной ПП;
- основные предельные состояния при любых условиях;
- предельные состояния эксплуатационной пригодности.

Опорная конструкция, настил ПП и продольные балки должны выдерживать локальные колесные и скользящие воздействия совместно с другими постоянными, переменными и внешними воздействиями.

Настил палубы и элементы жесткости должны быть спроектированы таким образом, чтобы постоянный прогиб при аварийной посадке вертолета не превышал 2,5 % габаритной ширины плит между опорами.

Ребра жесткости под колесами/лыжами и на опорах должны локально сохранять целостность при воздействии опор вертолета во время аварийных посадок.

Элементы опорной конструкции ПП следует проверять на вибрации, возникающей вследствие воздействия переменных вихревых потоков воздуха.

10.5.3.3 Аварийная посадка вертолета

При проектировании конструкции ПП на режим аварийной посадки вертолета следует учитывать следующие воздействия:

а) динамические воздействия вертолета (локальные воздействия опор вертолета)

Динамическое воздействие при посадке вертолета учитывают в качестве проектной разрушающей нагрузки опор вертолета и умножают на коэффициент отклика конструкции, чтобы учесть ответную реакцию конструкции ПП. Данный коэффициент, применяемый для проектирования ПП, зависит от частоты собственных колебаний конструкции. При отсутствии значений, полученных на основе конкретных характеристик опор вертолета и собственной частоты колебаний палубы, выбирают минимальное значение коэффициента динамической характеристики конструкции, равное 1,3.

Отказ одного двигателя вертолета в воздухе считают рабочим случаем среди возможных чрезвычайных ситуаций, связанных с живучестью, когда вертолет спускается на самой высокой скорости и, следовательно, оказывает значительные динамические воздействия на ПП. Данный случай подробно рассмотрен в [9] и [10]. Динамические воздействия на вертолетную ПП вычисляются путем учета установленного максимального ударного воздействия (обычно в 2,5 раза больше максимальной взлетной массы), подходящим образом распределенного по палубе.

Расчетная ситуация предполагает, что вертолет с одним главным винтом приземляется одновременно на две основные опоры или лыжи. Вертолет со сдвоенным главным винтом может приземляться одновременно на все колеса всех основных опор. Локальные воздействия возникают в местах, определяемых путем рассмотрения геометрии опор вертолета.

Для вертолетов с одним главным винтом суммарные воздействия на конструкцию ВС обычно рассматривают в виде концентрированных воздействий на центры опор определенного вертолета и делятся поровну между двумя главными опорами. Для вертолетов со сдвоенным главным винтом эти воздействия представляются в виде концентрированных воздействий определенного вертолета с распределением между главными опорами в пропорции, соответствующей их максимальной статической нагрузке. Такие концентрированные воздействия опор вертолета обычно рассматривают в качестве сосредоточенных нагрузок. Как вариант, площадь контакта шины допускается определять на основе технических характеристик, предоставленных производителем. Максимальная взлетная масса и центры опор вертолета, на воздействие которых рассчитана вертолетная палуба, должны подтверждаться документально.

Аналогичное распределение используют для воздействий, возникающих при аварийной посадке вертолета;

б) воздействия на определенную область

Общее распределенное по площади ПП воздействие значением 0,5 кН/м^2 позволяет вспомогательному оборудованию оставаться на вертолетной ПП при любом количестве снега и льда;

в) постоянные и переменные воздействия на ПП в т. ч. от постоянно установленного оборудования

При проектировании необходимо количественно оценить собственную массу конструкции ПП и установленного на ней оборудования.

Концентрированные горизонтальные воздействия, суммарно равные половине максимальной взлетной массы вертолета, следует прикладывать в местах расположения основных опор вертолета и распределяться пропорционально вертикальным воздействиям в каждой точке. Такие воздействия следует прикладывать на уровне ПП в горизонтальном направлении, что приводит к наиболее сильной нагрузке на рассматриваемый элемент конструкции;

г) воздействия окружающей среды:

1) воздействие ветра на ПП

Воздействие ветра на конструкцию ПП должно быть в направлении, которое вместе с горизонтально приложенными воздействиями обеспечивает наиболее сильную нагрузку на рассматриваемый элемент конструкции. Скорость ветра следует использовать для ограничения нормальных (неаварийных) вертолетных операций на МНГС. Необходимо проанализировать все вертикальные воздействия (вверх или вниз) на вертолетную ПП, обусловленные потоками ветра над/под площадкой,

2) воздействия, обусловленные смещениями МНГС

Необходимо учесть воздействие ускорений и динамического усиления, возникающих в результате прогнозируемых перемещений стационарного или плавучего сооружения в условиях шторма с периодом повторяемости 10 лет.

10.5.3.4 Вертолет в неподвижном состоянии

Для вертолетов в неподвижном состоянии необходимо учесть следующие воздействия:

а) статические воздействия вертолета (локальные воздействия опор вертолета)

Рабочая часть ПП должна в любом месте выдерживать воздействия при максимальной взлетной массе вертолета. Такое воздействие следует прикладывать к местам расположения опор вертолета и распределяться пропорционально положению центра тяжести вертолета с учетом его возможных различных положений и ориентаций;

б) воздействия на определенную область

Для персонала, грузов, станций раздачи топлива, снега, льда, нисходящих потоков несущего винта вертолета и т. д. необходимо использовать установленное воздействие 2,0 кН/м^2, которое прикладывают ко всей площади ПП;

в) горизонтальные воздействия со стороны закрепленного вертолета, в том числе воздействия ветра

Каждый швартов должен выдерживать расчетную часть воздействия ветра на вертолет в штормовых условиях при минимальном периоде повторяемости один год;

г) собственная масса конструкции ПП, в т. ч. от постоянно установленного оборудования;

д) воздействия окружающей среды:

1) воздействие ветра на ПП

В отношении наиболее неблагоприятного варианта нагрузки для рассматриваемого элемента конструкции вертолетной ПП должны применяться воздействия ветра с периодом повторяемости 100 лет,

2) воздействия, обусловленные смещениями МНГС

Необходимо учесть воздействие ускорений и динамического усиления, возникающих в результате прогнозируемых смещений стационарного или плавучего сооружения в условиях шторма с периодом повторяемости 10 лет.

10.5.3.5 Характерные (нормативные) значения прочности и частных коэффициентов сопротивления

Необходимо использовать определения прочности, указанные в действующих нормах и правилах.

10.5.3.6 Предохранительная сетка

Для защиты персонала по внешнему периметру ПП должна быть установлена предохранительная стальная сетка. Исключением являются места, где уже существует подходящая защита от падения. Предохранительная сетка должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать и удерживать без повреждения объект массой 100 кг, упавший с высоты 1 м. Поперечные и продольные балки, поддерживающие сетку, следует проектировать и располагать с учетом необходимости предотвращения серьезного травмирования при падении на сетку.

10.5.3.7 Точки раскрепления вертолета

Для всех типов вертолетов, которые способны выдержать ПП, необходимо обеспечить наличие достаточного числа заделанных заподлицо точек крепления. Расположение и конструкция этих точек

крепления должны обеспечивать надежное раскрепление вертолета в суровых погодных условиях. Конструкция креплений должна учитывать инерциальные силы, возникающие при любом перемещении МНГС (см. 10.5.3.4).

Для обеспечения безопасности нахождения вертолета на ПП в зимнее время должна быть предусмотрена установка в центре ПП противоскользящей сетки, выполненной из натурального волокна.

10.6 Опорные конструкции грузоподъемных кранов

10.6.1 Общие сведения

Опорные конструкции предназначены для установки грузоподъемных кранов на МНГС. Опорно-поворотное кольцо крана, а также соединения между опорно-поворотным кольцом и основанием крана не являются опорными конструкциями. От производителя грузоподъемного крана необходимо получить сведения о возможных воздействиях на опорную конструкцию крана.

Опорные конструкции грузоподъемных кранов по возможности необходимо раскреплять в уровнях не менее чем двух несущих палуб ВС с минимальными отклонениями по оси установки.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.7 (приложение А).

10.6.2 Расчет статических воздействий

При необходимости проектирования опорных конструкций грузоподъемных кранов (при отсутствии данных от производителя крана) необходимо рассмотреть следующие отдельные ситуации:

а) грузоподъемный кран, работающий в спокойных условиях

$$F_G + F_{rhl} + F_H, \tag{10}$$

где F_G — вертикальное воздействие, обусловленное собственной массой грузоподъемного крана;

F_{rhl} — характерная нагрузка на гак грузоподъемного крана с учетом коэффициентов [5] и номинальную нагрузку, умноженную на динамические коэффициенты крана (предоставляются производителем крана);

F_H — горизонтальное воздействие, обусловленное отклонением грузового каната из плоскости стрелы или его смещением в сторону на конце стрелы и смещением каната на шкивах в плоскости стрелы;

б) грузоподъемный кран, работающий при максимальном ветре

Погрузочно-разгрузочным работам на МНГС могут соответствовать различные значения максимального рабочего ветра, которые также могут сильно зависеть от массы поднимаемого груза.

$$F_G + F_{rhl} + F_H + F_W, \tag{11}$$

где F_W — максимальное воздействие ветра на работающий грузоподъемный кран;

в) грузоподъемный кран в неподвижном состоянии, подвергающийся воздействию экстремального ветрового режима.

В данной ситуации стрелу крана можно считать покоящейся на своей опоре (при наличии такой опоры).

$$F_G + F_{W,ext}, \tag{12}$$

где $F_{W,ext}$ — экстремальное воздействие ветра на грузоподъемный кран;

г) разрушение грузоподъемного крана.

Опорная конструкция крана должна быть спроектирована таким образом, чтобы исключить ее повреждения в случае разрушения любой части конструкции крана (чаще всего стрелы или опоры стрелы) при его значительной перегрузке.

При определении наихудших воздействий на опорную конструкцию крана необходимо использовать нагрузки на основание крана, предоставленные для всех расчетных ситуаций производителем

крана. Предполагается, что максимальное значение нижнего предела разрушающего момента самого слабого элемента будет приниматься за верхний предел силы моментов, которые могут воздействовать на основание крана.

Расчетный момент поломки грузоподъемного крана следует выбирать равным вышеуказанному максимальному значению нижнего предела разрушающего момента с учетом коэффициента безопасности 1,3.

Коэффициенты воздействия, использованные для перечислений *а*)—*г*), должны соответствовать нормальным рабочим условиям (см. раздел 8).

Для перечислений *а*) и *б*) значение F_{rhl} следует выбирать в соответствии с максимальной номинальной нагрузкой, приемлемой в диапазоне максимального и минимального радиусов погрузочно-разгрузочных работ на МНГС.

Для перечислений *б*) и *в*) необходимо проверить максимальные значения ветра.

Для плавучих МНГС необходимо учесть влияние бортовой и килевой качки на направление сил в опорной конструкции крана.

Опорная конструкция грузоподъемного крана и ее элементы должны с запасом выдерживать воздействие сил и моментов при наиболее высоких нагрузках, которые характерны для преобладающих внешних условий. При этом необходимо учитывать воздействия, обусловленные отклонением грузового каната от вертикали и смещением оси шкива в плоскости стрелы. Значения соответствующих параметров необходимо получить от производителя грузоподъемного крана. Значения углов не должны быть меньше значений, указанных в таблице 5.

Таблица 5 — Минимальные значения углов отклонения грузового каната и смещения оси шкива

Тип угла	Минимальное значение угла	Описание
Угол отклонения грузового каната в плоскости стрелы	6°	Вертикальный угол грузоподъемного каната, измеряемый в вертикальной плоскости, включающий опорную конструкцию крана и стрелу
Угол отклонения грузового каната из плоскости стрелы	3°	Вертикальный угол грузоподъемного каната, измеренный в вертикальной плоскости под прямым углом к плоскости, включающий опорную конструкцию крана и стрелу

10.6.3 Динамический расчет

Динамический анализ опорных конструкций грузоподъемных кранов следует выполнять в следующих случаях:

- отсутствие данных по обеспечению прочности опорной конструкции крана от производителя крана;
- нестандартная процедура расчета;
- максимальный угол скручивания опорной конструкции превышает 1°, при этом экспериментальные или инженерные оценки указывают на то, что характеристики опорной конструкции крана могут сильно измениться под влиянием динамического воздействия;
- сейсмические воздействия могут порождать значительные ускорения (см. 8.10);
- грузоподъемный кран, для которого изначально рассчитана опорная конструкция, заменяют краном большего размера;
- кран плавучего МНГС используют в условиях, которые отличаются от расчетных условий, например при модернизации сооружения.

Для реалистичного представления совместной реакции крана и его опорной конструкции необходимо использовать подробную модель динамического анализа.

При наличии возможности результаты динамического анализа можно использовать для модификации процедуры расчета усталостной прочности, описанной в 10.6.4.

10.6.4 Расчет усталости

Расчет усталости следует по возможности выполнять на основе оценки использования грузоподъемного крана по назначению на протяжении всего срока эксплуатации ВС.

Все элементы опорной конструкции крана должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать концентрации механических напряжений, которые способны приводить к чрезмерному снижению усталостной прочности опорной конструкции.

Особое внимание необходимо уделить результатам воздействия окружающей среды на плавучие МНГС, если такие воздействия приводят к усталостному разрушению опорных конструкций грузоподъемных кранов.

Усталостный анализ следует выполнять с учетом ожидаемой эксплуатации крана и значений динамических коэффициентов, указанных производителем. Необходимо проанализировать не менее 25000 циклов подъема.

Для каждого цикла подъема необходимо проанализировать весь диапазон механических напряжений в элементах опорной конструкции при подъеме грузов, повороте стрелы и опускании грузов.

Для вычисления усталостной прочности используют S-N кривые, применимые к соответствующим конструктивным элементам, и механические напряжения, учитывающие основные геометрические границы, например наличие отверстий в конструкции.

10.7 Конструкции переходных мостов

При проектировании переходных мостов необходимо учитывать смещения сопряженных с ними конструкций. Переходные мосты должны быть оснащены продольными, поперечными или скользящими несущими элементами в точках опоры, чтобы ограничить смещения переходных мостов относительно опорных конструкций и минимизировать передачу сил в конструкцию переходного моста при смещении опорных точек.

Расположение переходных мостов должно исключать потенциальные опасности для полетов вертолетов и в работе судов снабжения.

Переходные мосты, используемые в качестве маршрутов эвакуации, должны быть расположены соответствующим образом и/или защищены от воздействий взрывов, падающих предметов и осколков во время аварийных ситуаций.

Необходимо определить, могут ли прямые и косвенные воздействия на переходные мосты стать причиной вибраций моста, оборудования и проложенных по мостам трубопроводов.

Детализация расположения опорных элементов мостов должна позволять учитывать продольные и поперечные перемещения конструкции переходного моста.

10.8 Конструкции опорных элементов переходных мостов

Опорные элементы переходных мостов должны выдерживать воздействия во всех расчетных ситуациях. В местах перемещения переходных мостов относительно опорных элементов необходимо учесть следующие воздействия и их последствия:

- усталость и износ, обусловленные колебаниями и смещениями;
- смещения, вызванные экстремальными воздействиями;
- наиболее строгий вариант комбинации поступательных и вращательных допусков для опорных элементов.

Конструкция и противопожарная защита системы опорных элементов должны учитывать необходимость проверки и своевременной замены их элементов в период эксплуатации, в том числе точек для использования домкратов и подъемников (при необходимости).

10.9 Конструкции противовибрационных опор динамического оборудования

Противовибрационные опоры динамического оборудования должны выдерживать наиболее неблагоприятные комбинации воздействий и смещений, характерных для основных предельных значений, экстремальных условий окружающей среды и случайных ситуаций (в том числе пожаров).

Если противовибрационные опоры не могут компенсировать определенные воздействия, необходимо использовать дополнительные направляющие и ограничивающие системы.

При проектировании особое внимание необходимо уделить вопросам обеспечения доступа для осуществления инспектирования и технического обслуживания противопожарной защиты противовибрационных опор и их фундаментов.

10.10 Узлы сопряжения элементов конструкции и устанавливаемого оборудования

Конструкции ВС содержат сложные узлы сопряжения с устанавливаемым оборудованием. При проектировании необходимо учитывать допуски в отношении массогабаритных характеристик оборудования (предоставляемыми поставщиками оборудования). Для таких узлов сопряжения существуют факторы, требующие дополнительного согласования в процессе проектирования:

а) местоположение непрерывного дренажного желоба, проникающего через палубный настил, может подвергать опасности опорные элементы балок;

б) неконтролируемое прикрепление второстепенного оборудования или систем к конструкциям, подверженным усталостным явлениям, может усилить потенциальное усталостное повреждение;

в) проникновения в палубы или стены могут нарушать мембранные свойства, необходимые для сопротивления случайным воздействиям;

г) критичность элементов конструкций ВС может зависеть от их поверхности сопряжения с оборудованием, если неполадка способна привести к выбросу углеводородов и последующему пожару или взрыву;

д) опоры оборудования или трубопровода могут подвергаться воздействию очень низких температур при выполнении технологических операций или аварийной продувки;

е) разлив разрушающих жидкостей (например, жидкого азота) может привести к образованию трещин в конструктивных элементах и опорных конструкциях оборудования.

Данные факторы способны оказывать влияние на процессы проектирования, выбора материалов и изготовления.

При проектировании необходимо обеспечивать постоянный контроль узлов сопряжения.

10.11 Противопожарные системы

10.11.1 Общие сведения

Цель системы мероприятий противопожарной защиты МНГС — это защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и взрывов и/или ограничение его последствий.

Система мероприятий обеспечения взрывопожарной и пожарной безопасности МНГС в обязательном порядке должна содержать комплекс мер, исключающих возможность превышения значений допустимого пожарного риска. Оценка пожарного риска является составной частью декларации пожарной безопасности или декларации промышленной безопасности МНГС.

Защита персонала и имущества МНГС от воздействия опасных факторов пожара и взрывов и/или ограничение последствий их воздействия должны обеспечиваться одним или несколькими из следующих способов:

1) применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;

2) устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;

3) устройство систем обнаружения пожара (установок и систем пожарной сигнализации) оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре);

4) применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) и средств индивидуальной защиты людей от воздействия опасных факторов пожара;

5) применение основных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым степени огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности, а также с ограничением пожарной опасности поверхностных слоев (облицовок и средств огнезащиты) конструкций на путях эвакуации;

6) применение несущих конструкций, обеспечивающих устойчивость при сгорании облака газопаровоздушной смеси с взрывоопасной концентрацией горючего;

7) применение огнезащитных составов (в том числе антипиренов и огнезащитных красок) и материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций;

8) устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания (сброса) горючих газов из технологического оборудования;

9) устройство на технологическом оборудовании и при необходимости в помещениях с технологическим оборудованием систем противовзрывной защиты;

10) применение первичных средств пожаротушения;

11) применение автоматических установок пожарной сигнализации и автоматизированных установок пожаротушения;

12) устройством в наружном ограждении пожаровзрывоопасных помещений легкосбрасываемых конструкций;

13) организация деятельности пожарных расчетов (аварийно-спасательных групп) на МНГС.

Разработку противопожарных систем следует осуществлять в соответствии с [11].

10.11.2 Система обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов

Во взрывоопасных зонах МНГС следует осуществлять постоянный контроль состояния воздушной среды в соответствии с требованиями [12]. Система обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов на МНГС должна быть интегрирована с аналогичными системами других сооружений обустройства месторождения.

Система обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов должна быть адресной.

Датчики системы обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов должны иметь пороги срабатывания 20 % и 50 % нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПР), а установленные в местах забора воздуха систем вентиляции — 10 % и 20 % НКПР.

Состав датчиков и приборов системы обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов, места их установки должны удовлетворять требованиям [12] и нормативного документа [1].

Питание системы обнаружения взрывоопасных концентраций горючих газов следует осуществлять от главного, аварийного и резервного источников бесперебойного электропитания.

10.12 Люки, горловины, отверстия

Для погрузки и выгрузки оборудования, доступа персонала в цистерны, сухие отсеки, коффердамы, для доступа света и воздуха в помещения, также в качестве аварийных выходов из помещений МНГС должны быть предусмотрены люки, горловины, отверстия различных размеров. При конструктивной необходимости люки, горловины и отверстия должны иметь водонепроницаемые закрытия.

При проектировании необходимо учитывать влияние конструктивно предусмотренных люков, горловин и отверстий на статическую и усталостную прочность ВС.

10.13 Труднодоступные места

Инспектирование и обслуживание определенных элементов ВС может оказаться затруднительным во время эксплуатации МНГС по причине их функционального назначения и местоположения (например, факельные стрелы, буровые вышки и области, скрытые установками или оборудованием). По возможности в конструкциях должны отсутствовать элементы, доступ к которым затруднен в период эксплуатации МНГС. Для сокращения числа труднодоступных мест необходимо применять материалы и компоновки, которые не требуют специального инспектирования и обслуживания. Для этих мест требуются более высокие расчетные коэффициенты усталостного разрушения (см. 7.7).

На стадии проектирования необходимо уделить внимание доступности ответственных элементов конструкции ВС для осмотра, проведения ремонта, чистки и нанесения покрытий.

10.14 Дренажные системы

МНГС должно быть оборудовано открытой и закрытой дренажными системами опасных стоков.

Дренажные системы опасных стоков должны обеспечить принцип «нулевого сброса» (запрет на удаление в морскую среду всех отходов, образующихся в результате производственной деятельности), что исключает загрязнение окружающей среды и обеспечивает выполнение экологических, санитарных и рыбохозяйственных требований.

10.15 Воздействия, обусловленные бурением

Во время проектирования необходимо учитывать последствия рабочих импульсных воздействий и вибраций на критически важные элементы безопасности, защитные покрытия и т. д.

10.16 Снижение прочности при нагревании

Необходимо избегать любого снижения прочности и жесткости конструкций, расположенных вблизи теплогенерирующего оборудования (например, факельные стрелы и вытяжные воздуховоды). Если перемена местоположения конструкции и соответствующего оборудования нецелесообразна с практической точки зрения, необходимо воспользоваться соответствующими проектными решениями, обеспечивающими теплозащиту, с учетом конечного воздействия на конструкцию.

10.17 Техническое обслуживание трапов, складских площадок и оборудования

Трапы и настилы должны выдерживать переменное воздействие персонала значением 5 кН/м^2, которое используют для расчета решеток/листовой обшивки и опорной конструкции.

Места хранения контейнеров и другого оборудования, доставляемого на МНГС, следует проектировать с достаточным запасом, позволяющим поддерживать функционирование МНГС. Общая потребность в складских площадках и их расположение на сооружении зависят от размера, функционирования и комплектации персоналом. Системы контроля складских площадок должны предотвращать непреднамеренные перегрузки мест хранения. Каждая складская площадка должна выдерживать удар при падении груза. Значение энергии удара определяют на основе высоты подъема и максимальной грузоподъемности кранов, обслуживающих складскую площадку. Предполагается, что энергия удара воздействует на одну точку.

Зоны технического обслуживания должны быть расположены рядом с оборудованием, которое может нуждаться в сложном техническом обслуживании. Габариты и несущая способность зоны технического обслуживания зависят от характеристик оборудования, а также от размеров и массы элементов, которые необходимо демонтировать и заменить.

Все зоны складирования и технического обслуживания следует четко маркировать с помощью условных знаков и указателей максимальной грузоподъемности. Кроме того, такая информация должна содержаться в инструкции по эксплуатации МНГС.

10.18 Зоны аварийного сбора персонала

При проектировании зон аварийного сбора персонала (районы спасательных шлюпок, переходной мост, у основных входов на ПП) необходимо учитывать нагрузки, как минимум от двойного числа персонала, на вместимость которого предусмотрена данная зона.

11 Материалы

11.1 Общие сведения

Как правило, конструкции ВС МНГС изготовляют из углеродистой стали. Однако при строительстве МНГС также используют нержавеющую сталь, алюминий, армированные волокном композиты. ***СП 16.13330.2011*** содержит подробные требования, предъявляемые к конструкционной стали для морских сооружений.

11.2 Углеродистая сталь

При выборе углеродистой стали для конструкций ВС рекомендуется учитывать требования ***СП 16.13330.2011*** с учетом следующих методов определения технических характеристик стали:

- метод по категории материала (MC);
- метод по классу конструкции (DC).

Для обоих методов необходимо соблюдать требования, предъявляемые к сварке, изготовлению и контролю углеродистой стали. Для выбора материала в зависимости от его категории необходимо использовать таблицу 6, которая содержит группы минимальной прочности и классы ударной вязкости элементов конструкций ВС. Для выбора материала в зависимости от класса конструкции необходимо использовать таблицу 7, которая содержит информацию об уровнях ударной вязкости стали и категориях проверки.

Таблица 6 — Выбор материала для ВС в зависимости от категории материала

Расположение элементов ВС		Группа прочности	Класс ударной вязкости[a]		
			MC1	MC2	MC3
Опорные стойки палубы	Соединения толщиной до 50 мм	II	CV2Z	CV2Z	CV2[d]
	Соединения толщиной более 50 мм	II	CV2ZX[b]	CV2Z[c]	CV2[d]
	В другом месте	I	CV2	CV1 или C	NT
		II	CV2	CV1	CV1
Палубная конструкция МНГС	Набор	I	—	NT	NT
		II	CV2	CV2 или CV1	CV1
		III	CV2	—	—
	Раскосы	I	CV2 или CV1	CV1 или NT	NT
		II	CV2 или CV1	CV1	CV1 или C
Балочные фермы	Фланец на соединениях и узлы фермы	II	CV2ZX[b]	CV2Z	CV2[d]
		III	CV2ZX[b]	CV2Z	—
	Другой фланец, полка фермы, ребра жесткости	I	CV2	CV1 или NT	NT
		II	CV2	CV1	CV1
		III	CV2	CV2	—
Вторичные конструкции	Крепление и балки перекрытия (с запасом)	I	NT	NT	NT
		II	CV1	NT	NT
Основание крана		II	CV2ZX[b]	CV2Z	CV2[d]
Точки подъема	Главные плиты с проушинами и точки крепления	II	CV2ZX[b]	CV2Z	CV2[d]

[a] Если указаны два класса ударной вязкости, для растянутых элементов конструкции толщиной свыше 25 мм рекомендуется использовать более высокий класс.

[b] Для толщины свыше 50 мм класс CV2ZX подразумевает обязательное испытание на раскрытие в вершине трещины (CTOD).

[c] Для соединений толщиной более 75 мм — см. CV2ZX.

[d] Сталь с низким содержанием серы (менее 0,006 %).

Таблица 7 — Выбор материала для ВС в зависимости от класса конструкции

Соединение/элемент	Класс конструкции (DC)	Класс ударной вязкости	Категория проверки [a]
Несущая ферменная конструкция (вертикальные стойки, продольные и поперечные балки)			
Узел подъема (сложный, сварка встык)	1	CV2Z или CV2ZX	A или B
Стыковые и угловые сварные швы, работающие на сдвиг или сжатие			C

Продолжение таблицы 7

Соединение/элемент	Класс конструкции (DC)	Класс ударной вязкости	Категория проверки [a]
Узлы подъема (простые, сварка встык)	2	CV2 или CV2ZX	A или B
Стыковые и угловые сварные швы, работающие на сдвиг или сжатие			C
Узлы опор (сварка встык на растяжение)	2	CV2Z или CV2ZX	A или B
Стыковые и угловые сварные швы, работающие на сдвиг или сжатие			C
Стойки и раскосы в узлах подъема	2	CV2	—
Стыковые швы в узле			A или B
Все другие стойки и раскосы	4	CV2	—
Стыковые и угловые сварные швы			B или C
Элементы жесткости, сварка встык	4	CV1	B
Элементы жесткости, угловые швы			C
Остальные элементы ферм и палубные конструкции			
Горизонтальные связи, поперечные швы встык	4	CV1	B или C
Угловые и продольные сварные швы			C
Балки палубы, перекладины, поперечные сварные швы встык	4	CV1	B или C
Продольные сварные швы			C
Переборки (толстые листы и продольные балки)	4	CV1	—
Все сварные швы			C
Балки опор настила, все сварные швы	4	CV1	C
Балки опор и емкости внутри палуб, все сварные швы	4	CV1	C или D
Межпалубные площадки, все сварные швы	4	CV1	C или D
Стальная оснастка			
Опорная конструкция грузоподъемного крана	4	CV2	—
Сварные швы встык			B или C
Опора стрелы крана/все сварные швы	5	CV1	C
Главные опоры/все сварные швы	4	CV1	C или D
Вспомогательные опоры/все сварные швы	5		D
Настилы и закладные элементы/все сварные швы	5	NT	C или D
Балки крановых путей и проушины/сварные швы встык	4	CV2 или CV1	B или C
Элементы оснастки/сварные швы встык	4 или 5	CV1 или NT	D или E
Угловые сварные швы т швы с частичным проваром			E
Вспомогательные монтажные конструкции			
Упоры и направляющие/все сварные швы	5	NT	D

Окончание таблицы 7

Соединение/элемент	Класс конструкции (DC)	Класс ударной вязкости	Категория проверки [a]
Такелажные платформы/все сварные швы	5	NT	D
Проушины буксирного троса/все сварные швы	4	CV1	C

[a] Локальные зоны сварных швов с высоким коэффициентом использования должны содержать маркированные области обязательного неразрушающего контроля. Категории проверки зависят от режима доступа с целью эксплуатационного контроля и ремонта.

Примечание — Для сварных швов в напряженном состоянии применяют категорию самой строгой проверки.

11.3 Нержавеющая сталь

11.3.1 Общие сведения

Основная причина выбора нержавеющей стали — это ее высокая коррозионная стойкость. Необходимо учесть опасность электрохимической коррозии сопряженных материалов, особенно при наличии контакта с углеродистой сталью.

Нержавеющая сталь, используемая в морских конструкциях, как правило, обладает более высокой прочностью при повышенных температурах по сравнению с углеродистой сталью. Кроме того, нержавеющая сталь обладает исключительными характеристиками пластичности и поглощения энергии. Типичные области применения нержавеющей стали — это кабельные желоба и лестницы, вентиляционные заслонки, палубные настилы, противопожарные и взрывозащитные перегородки, лестницы, трапы и обшивка помещений.

11.3.2 Марки нержавеющей стали

Марки нержавеющей стали делятся на пять основных групп согласно классификации на основе микроструктуры: аустенитная, ферритная, мартенситная, двухфазная и дисперсионно-твердеющая. Аустенитная нержавеющая сталь — это наиболее используемая группа при проектировании морских конструкций. Наиболее широко применяется стальной сплав марки 17Cr 12Ni 2Mo (обозначается как сталь 316 или низко углеродистая сталь марки 316L, ***сталь марки 03Х16Н15М3***).

11.3.3 Свойства материалов

Аустенитная нержавеющая сталь характеризуется низкой теплопроводностью и высоким тепловым расширением по сравнению с ферритной сталью (в том числе по сравнению с конструкционной углеродистой сталью). При проектировании необходимо учитывать влияние неравномерного теплового расширения, так как такие тепловые свойства могут приводить к повышенным деформациям при сварке элементов конструкции из аустенитной нержавеющей стали.

11.4 Алюминиевые сплавы

11.4.1 Общие сведения

Подходящие алюминиевые сплавы обладают высокой устойчивостью к морской коррозии, но подвержены электрохимической коррозии при контакте с другими материалами, такими как конструкционные стали, нержавеющие стали и медные сплавы. Как правило, требуется электрическая изоляция, реализуемая в виде изолирующих уплотнителей для соединений с углеродистой сталью.

Свойства алюминиевых сплавов могут сильно ухудшаться при сварке, что необходимо учитывать при проектировании соединений.

Как правило, алюминиевые сплавы применяют в конструкциях жилых блоков, вертолетных ПП, опор стрелы крана и палубных настилов.

11.4.2 Типы алюминиевых сплавов

Для морских конструкций наиболее часто используют два типа алюминиевых сплавов: термообрабатываемые серии 6XXX (например, 6082, ***АД 31, АД 33, АД 35***) и без термообработки серии 5XXX (например, 5083), которые подвергаются механическому упрочнению. Оба материала теряют прочность в зоне термического влияния сварного соединения.

Для сварных конструкций необходимо выбирать отожженные сплавы с прочностью не более 130 Н/мм^2 при механическом напряжении 0,2 %.

Высокопрочные сплавы допускается применять для конструкций без сварных соединений.

11.4.3 Свойства материалов

Алюминиевые сплавы обладают следующими типичными свойствами:

- плотность: 2700 кг/м^3;
- модуль Юнга: 7 × 104 Н/мм^2;
- предел текучести (сплав 6082): 130 Н/мм^2;
- предел текучести (сплав 5083): 220 Н/мм^2.

Плавление алюминия происходит при 550 °С, а потеря 50 % прочности наблюдается при 225 °С. Коэффициент теплового расширения алюминия вдвое больше, чем у стали.

11.4.4 Термитное искрообразование

Термитное искрообразование (смеси алюминия с оксидом железа) может возникать при контакте оксида железа (ржавая сталь) с алюминием. Потенциально опасны только термитные искры, возникающие во взрывоопасной атмосфере (например, смесь газа и воздуха). Если алюминий используют в строительстве, руководство по эксплуатации или иная документация должны содержать предупреждения и рекомендации о необходимости соблюдения мер предосторожности, чтобы исключить термитное искрообразование. Конструкция также должна иметь соответствующую предупредительную маркировку.

Примечание — Термитное искрение часто называют образованием искр при трении и поджоге.

11.5 Композиты, армированные волокном

Существует возможность изготовления армированных волокнами композитов, обладающих широким диапазоном свойств, таких как высокая прочность и значительная огнестойкость.

Степень пригодности материалов, как правило, следует определять в рамках типовых испытаний на соответствие рабочим характеристикам.

Армированные волокнами композиты успешно используют при производстве напольных решеток, поручней, лестниц, легких огне- и взрывостойких панелей, а также для армирования и ремонта секций из углеродистой стали.

Кроме того, армированные волокнами композиты зачастую не проводят электричество, поэтому любые токопроводящие и металлические объекты, соединенные с такими композитам, следует при необходимости заземлять отдельно.

При проектировании необходимо учитывать, что при пожаре армированные волокна композитов могут выделять ядовитые вещества.

11.6 Лесоматериалы

Использование лесоматериалов при строительстве ВС МНГС обычно ограничено защитой верхних палуб от падающих предметов и повреждением при работе с трубами. Лесоматериалы выдерживают падающие предметы, когда находятся между двумя стальными листами.

Проблема огнеопасности лесоматериалов усугубляется их способностью впитывать углеводороды, поэтому использование лесоматериалов ограничено в потенциально опасных зонах.

12 Изготовление, контроль качества, гарантия качества и оформление документации

12.1 Изготовление верхних строений

12.1.1 Общие сведения

Процедура изготовления (кроме сварки) должна соответствовать требованиям соответствующих документов по стандартизации (стандартов, сводов правил). Производственные допуски должны соответствовать допускам проектной/рабочей документации и должны быть указаны в соответствующих графических документах (чертежах).

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.8 (приложение А).

12.1.2 Решетчатые настилы

При отсутствии дополнительных требований расположение соединений настилов необходимо обеспечить только в точках опоры.

12.1.3 Площадки для управления оборудованием

Высота площадки перед оборудованием, с которой осуществляют управление, должна составлять (50 ± 4) мм.

12.1.4 Временные крепления

Любые временные крепления конструкции ВС (в том числе основания подъемных кранов), например подмостки, средства монтажа и возведения, могут повышать локальные механические напряжения (даже после демонтажа), поэтому по возможности необходимо избегать применения временных креплений. В случае необходимости использования таких креплений применяют следующие требования:

- временные крепления не должны демонтироваться ударами молотков или воздушно-дуговой поверхностной резкой. Крепления к соединительным стаканам стоек, обвязке, концам связей и соединительным кольцам жесткости необходимо обрезать на расстоянии 3 мм от металла основы и механически гладко обработать заподлицо с металлом основы;
- крепления ко всем местам, требующим покраски, необходимо демонтировать до выполнения покраски;
- крепления ко всем остальным местам, которые не упомянуты выше, должны срезаться над сварным швом (не более 6 мм выше шва). Оставшаяся стальная часть крепления должна полностью завариваться сваркой;
- крепления к вспомогательным средствам в сращивании опорных стоек, скоб, рукавов, свайных сооружений, направлений и т. д. должны гладко демонтироваться заподлицо.

12.2 Сварка

Сварка должна соответствовать требованиям действующих норм и правил, а также утвержденной проектной документации с учетом следующих дополнительных требований:

- толщина металла конструкций ВС может превышать толщину металла сопряженных опорных конструкций, особенно в точках опирания и подъема;
- последовательность сварки может оказать значительное влияние на остаточные механические напряжения. Данное обстоятельство необходимо учитывать при изготовлении больших палубных конструкций с несколькими уровнями и многочисленными соединениями внакрой в основных строительных стойках и обвязках. При проектировании и изготовлении необходимо учитывать остаточные механические напряжения. По возможности необходимо предпринять меры для минимизации остаточных механических напряжений;

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего подраздела приведены в А.9 (приложение А).

12.3 Контроль изготовления

В течение всего процесса строительства необходимо осуществлять контроль соответствия применяемых строительных материалов и изделий, в том числе строительных материалов, производимых на территории, на которой осуществляется строительство, требованиям проектной документации в соответствии с требованиями [13]. Для контроля качества изготовления допускается применение требований [4].

12.4 Контроль качества, обеспечение качества и документирование

Проектная и рабочая документация на ВС МНГС должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 21.1101.

Проектная документация представляет собой документацию, содержащую материалы в текстовой и графической формах и в виде схем и определяющую архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства, реконструкции ВС МНГС, капитального ремонта и демонтажа. Процесс создания проектной документации может быть реализован с помощью системы автоматизированного проектирования с созданием трехмерных моделей проектируемых сооружений.

Персонал МНГС должен иметь беспрепятственный доступ ко всей технической информации, необходимой для безопасного использования конструкций ВС. Такая информация должна содержать сведения о нагрузках на ВС, определяющие максимальную несущую способность зон хранения, доступа и техобслуживания, а также общую максимальную массу ВС. Необходимо идентифицировать зоны, требующие периодической проверки с целью обеспечения непрерывной безопасной эксплуатации ВС.

13 Защита от коррозии

13.1 Общие сведения

Конструкции ВС МНГС должны быть защищены от коррозии настолько, насколько это необходимо для сохранения конструкционной целостности и функционального назначения на протяжении всего срока службы. Требования к защите от коррозии строительных конструкций приведены в СП 28.13330.2012. Показатели коррозии и коррозионной стойкости металла — согласно ГОСТ 9.908.

13.2 Типы коррозии, ее скорость и коррозионные разрушения

Коррозионное разрушение углеродистой стали без покрытия связано с воздействием кислорода обычно более или менее равномерно. Для типичных условий установившаяся скорость коррозии углеродистой стали (например, равномерная коррозия) не превышает приблизительно 0,1 мм в год.

Алюминиевые сплавы серий 5XXX и 6XXX, использованные в элементах конструкций ВС, очень стойки к морским условиям и подвержены лишь поверхностной или язвенной коррозии. Однако необходимо избегать гальванической связи (т. е. контакта металла и электролита) с конструкционной/нержавеющей сталью и медными сплавами. Гальваническая связь приводит к сильной электрохимической коррозии алюминия в точке контакта. Аналогичным образом конструкционная сталь может подвергаться усиленной коррозии, если находится в гальваническом контакте с нержавеющей сталью или медными сплавами.

Марки высокопрочной стали (предел текучести свыше 1200 МПа) и некоторые высокопрочные алюминиевые, никелевые и медные сплавы склонны к образованию трещин, обусловленных коррозией при механических напряжениях в морских средах.

Примечание — Термином «трещина, обусловленная коррозией при механических напряжениях», обозначен процесс образования трещин в результате взаимодействия между статическими напряжениями растяжения материала и конкретной коррозионной средой.

13.3 Проектирование систем борьбы с коррозией

13.3.1 Общие сведения

Для борьбы с коррозией конструкций ВС используют следующие основные конструктивно-технологические средства и мероприятия:

а) покрытия и облицовки;

б) коррозионно-стойкие материалы;

в) электрохимическая защита;

г) допуски на коррозию.

13.3.2 Особенности проектирования систем борьбы с коррозией

При первоначальном выборе и последующем рабочем проектировании систем борьбы с коррозией ВС необходимо учитывать следующие факторы:

а) требования законодательства;

б) критичность всей системы и функциональные требования, предъявляемые к отдельным защищаемым элементам конструкций;

в) тип и агрессивность коррозионной среды;

г) расчетный срок эксплуатации и возможность его продления;

д) доступность для осмотра и технического обслуживания с учетом концепции всестороннего технического обслуживания;

е) пригодность, надежность и экономичность технологических вариантов контроля коррозии.

13.3.3 Покрытия и облицовки

Система защиты конструкций покрытиями и облицовками относится к пассивной защите от коррозионных процессов.

Покрытием считают относительно тонкий (менее 1 мм) органический или металлический слой (один или несколько), облицовкой считается толстый (более 1 мм) коррозионно-защитный слой, нанесенный с целью противодействия механическому износу, защите от ударов и т. д. Органические материалы, используемые для облицовки, обычно армированы (например, стекловолокном или чешуйками). Металлические материалы, как правило, изготовляют из медных сплавов.

Необходимо предпринять специальные меры по предотвращению коррозии под покрытиями и облицовками, в том числе под огнезащитными покрытиями. Металлические материалы должны быть соединены с элементами конструкций путем создания герметичных сварных швов.

Системы покрытий используют различные типы органических (лакокрасочных) и металлических материалов. Например, цинковые слои наносят горячим погружением или термическим напылением.

При разработке проектных решений по системам покрытий следует учитывать следующие данные:

- ***тип покрытия и наименование изготовителя;***
- ***назначение покрытия;***
- ***обработка (подготовка) поверхности;***
- ***процедуры нанесения;***
- ***методика проведения инспекции (контроля) и критерии оценки качества;***
- ***процедуры ремонта (восстановления).***

Выбор покрытий должен осуществляться применительно к фактическим условиям окружающей среды района эксплуатации конструкции ВС.

Во время проектирования всех элементов, подлежащих покраске, необходимо учитывать подходящие меры, способствующие первоначальному нанесению покрытия и последующему техническому обслуживанию. К числу таких мер относят: использование трубчатых конструктивных элементов, скругление кромок, ***обеспечение доступа ко всем участкам конструкций, на которые следует наносить покрытие*** и т. д.

Элементы конструкций, подверженные снаружи или внутри воздействию морских брызг, дождя или переменного смачивания, не должны накапливать влагу, поэтому следует, например, применять сплошные сварные швы или предусматривать меры по дренажу влаги.

13.3.4 Коррозионно-стойкие материалы

При выборе коррозионно-стойких материалов элементов конструкций необходимо учитывать их коррозионную стойкость для конкретного случая применения, совместимость с другими материалами, механические свойства и удобство изготовления.

Необходимо предпринять меры по предотвращению электрохимической коррозии менее стойких в коррозионном отношении материалов. К этим мерам относятся покрытие с помощью компонентов, обладающих более высоким электрохимическим потенциалом, или использование электрической изоляции.

13.3.5 Допуски на коррозию

Допуск на коррозию может использоваться отдельно или совместно с покрытием. Значение допуска на коррозию должно определяться с учетом ожидаемой коррозионной активности, расчетного срока эксплуатации и планов технического обслуживания.

13.3.6 Электрохимическая защита

Электрохимическая система защиты конструкций относится к активной защите от коррозионных процессов.

Электрохимическую защиту осуществляют двумя способами:

- гальваническими анодами-протекторами (протекторная защита);
- током от внешнего источника (катодная защита).

Электрохимическая защита должна обеспечивать защиту от коррозии конструкций МНГС, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Защиту от коррозии осуществляют с применением электрохимической защиты в сочетании с другими средствами противокоррозионной защиты (покрытиями, применением коррозионно-стойких материалов, допусков на коррозию).

Элементы электрохимической защиты должны быть унифицированными, технологичными в процессе изготовления и монтажа, ремонтопригодными в условиях морских месторождений нефти и газа.

Проектная документация по электрохимической защите должна включать в себя обоснование выбора данного типа системы защиты, расчет системы и схемы размещения элементов защиты.

Для систем катодной защиты с током от внешнего источника дополнительно должны быть разработаны электрические и монтажные схемы и инструкции по эксплуатации систем.

13.4 Производство и монтаж средств защиты от коррозии

13.4.1 Общие сведения

Технологии производства могут оказывать влияние на коррозионную стойкость некоторых материалов. Все способы строительства ВС с применением сварки должны соответствовать требованиям действующих норм и правил, а также утвержденной проектной документации. Допускается учитывать соответствующие рекомендации, представленные в [4].

13.4.2 Покрытия и облицовки

Необходимо соблюдать рекомендации производителя, а также рекомендации, содержащиеся в применимых стандартах и технологиях для подготовки поверхностей, выбора материалов, нанесения покрытий, проверки и ремонта.

Контроль качества во время подготовки поверхностей, нанесения покрытий и выполнения ремонта гарантирует согласованность характеристик покрытий и облицовок. Все работы по нанесению покрытий (начиная с подготовки поверхности, нанесения покрытия и ***заканчивая контролем качества нанесения покрытия***) следует выполнять в соответствии с проектной документацией.

13.4.3 Коррозионно-стойкие материалы

Коррозионно-стойкие материалы следует применять с учетом влияния используемых технологий (сварки и т. д.) на их коррозионную стойкость и механические свойства.

13.4.4 Элементы системы электрохимической защиты

Монтаж и возобновление систем протекторной и катодной защиты следует выполнять в соответствии с требованиями правил безопасности выполнения строительно-монтажных работ и правил пожарной безопасности.

13.5 Эксплуатационный контроль, мониторинг и обслуживание средств защиты от коррозии

13.5.1 Общие сведения

Периодические проверки позволяют оценить физическое состояние и целостность средств защиты от коррозии и/или защищаемых элементов. Мониторинг средств защиты от коррозии требует периодической регистрации данных, связанных с контролем коррозии.

Планы проверок и мониторинга развития коррозии должны учитывать следующее:

а) важность защищаемой конструкции в целом и ее отдельных элементов;

б) тип и агрессивность коррозионной среды;

в) потенциальные виды коррозионных разрушений;

г) возможности средств проверки и мониторинга, а также доступность для осмотра;

д) результаты и последствия предыдущих проверок и/или мониторинга.

Примечание — Сведения о требованиях, предъявляемых к эксплуатационному контролю и мониторингу коррозии при инспектировании и мониторинге технического состояния, см. в разделе 15.

13.5.2 Покрытия и облицовки

Проверку покрытий и облицовок осуществляют главным образом путем визуального осмотра с целью определения потребности в техническом обслуживании (например, покраска). Визуальный осмотр позволяет также выявить области ухудшения качества покрытия, где для устранения коррозии требуется ремонт или замена элементов конструкции.

13.5.3 Коррозионно-стойкие материалы

Проверку состояния коррозионно-стойких материалов допускается объединить с визуальным осмотром для определения конструктивной целостности критически важных элементов конструкции, связанных с данными материалами.

14 Отгрузка, транспортировка и монтаж

Способы отгрузки, транспортировки и монтажа должны быть согласованы между проектными организациями, предприятием-изготовителем, компанией, осуществляющей транспортировку и монтаж в море.

Проектная документация по выполнению морских операций по строительству ВС должна соответствовать требованиям Российского морского регистра судоходства, Мор-

ского гарантийного сюрвейера. При необходимости допускается применение специальных требований и рекомендаций в отношении морских операций, связанных с отгрузкой, транспортировкой, монтажом и т. д. в соответствии с [5].

15 Инспектирование и мониторинг технического состояния

15.1 Общие сведения

Изложенные в ГОСТ Р 54483 требования, предъявляемые к инспектированию и мониторингу технического состояния, следует применять к конструкциям ВС, рассмотренным в настоящем стандарте. Допускается учитывать соответствующие рекомендации, представленные в [4].

15.2 Частные особенности, связанные с конструкциями верхних строений

15.2.1 Системы защиты от коррозии

Одной из основных причин ухудшения технического состояния многих элементов ВС является коррозия. Для снижения скорости коррозионного износа элементы конструкций ВС защищают покрытиями (см. раздел 13). Чтобы сохранить свою эффективность, системы защиты от коррозии следует обслуживать надлежащим образом.

15.2.2 Маршруты перемещения персонала и настилы

Для обеспечения безопасности персонала в эксплуатационных и аварийных условиях необходимо обеспечить периодическое инспектирование маршрутов перемещения персонала и настилов.

Дополнительная информация и рекомендации к нормативным положениям настоящего пункта приведены в А.10 (приложение А).

15.2.3 Опоры критически важного оборудования, а также систем телекоммуникаций, электроснабжения и пожаротушения

Опоры оборудования могут подвергаться экстремальным, аномальным и аварийным воздействиям, в том числе последующим сильным вибрациям. Для проведения инспектирования должны быть разработаны соответствующие методы проверки.

15.2.4 Контроль огнеопасных работ (сварка, резка и т. д.)

Огнеопасные работы в процессе эксплуатации (например, при креплении вспомогательных элементов, опор труб, кабельных каналов и т. д. или при вырезании монтажных окон) необходимо тщательно контролировать с целью предотвращения нарушения целостности элементов конструкций, критически важных для обеспечения безопасности. По возможности огнеопасные работы необходимо свести к минимуму путем учета потенциальных потребностей на стадии проектирования.

15.2.5 Аварийные воздействия

Необходимо разработать план мониторинга технического состояния ВС, чтобы обеспечить проверку, оценку и выполнение любых необходимых ремонтных работ и эвакуационных мероприятий сразу же после возникновения происшествия.

15.2.6 Контроль изменений

Любые изменения или общий эффект изменений, способных оказать значительное влияние на воздействия и реакцию критически важных элементов конструкций или на прочность всей конструкции, необходимо оценивать на этапах планирования и проектирования с учетом предполагаемых изменений. Непосредственно после строительства необходимо предпринять проверку с целью оценки воздействия и масштаба любых потенциальных изменений.

15.3 Объем контроля технического состояния верхних строений после завершения строительства и в ходе эксплуатации

15.3.1 Общие сведения

Конструкции ВС следует подвергать базовым и последующим периодическим проверкам работоспособности.

15.3.2 Базовая проверка

Базовую проверку (начальную оценку состояния смонтированной конструкции ВС) следует выполнять непосредственно после монтажа и сдачи в эксплуатацию ВС, но не позже чем через год после монтажа.

Данную проверку выполняют с целью выявления любых дефектов, способных нарушить целостность конструкций и оборудования ВС. Такие дефекты необходимо оценить и устранить до того, как они смогут повлиять на прочность конструкций.

В объем проверки должно входить как минимум следующее:

а) общий визуальный осмотр без удаления краски и покрытий, всех частей конструкции ВС, в том числе опор оборудования, с целью проверки следующего:

1) все части конструкций ВС исправны и не имеют повреждений,

2) все крепежные элементы, соединяющие конструкции между собой, а также конструкции и оборудование (в том числе настилы и ограждения), безопасны,

3) лакокрасочные и защитные покрытия не повреждены;

б) визуальный осмотр с целью оценки уязвимости критически важного оборудования и опор к повреждениям, обусловленных импульсными воздействиями и сильными вибрациями, создаваемыми экстремальными внешними событиями или случайными воздействиями, если такое исследование не выполнено на предприятии-изготовителе (см. 7.9);

в) обследование с целью определения целостности всех установленных систем пассивной противопожарной защиты;

г) измерение всех вибраций, возникающих при работе оборудования или при наличии локальных вихревых явлений.

15.3.3 Периодические проверки

Периодические проверки конструкций ВС следует выполнять в следующем объеме:

а) первый уровень проверки подразумевает выполнение как минимум визуального осмотра с целью определения следующих характеристик:

1) целостность покрытий и систем пассивной противопожарной защиты,

2) любые признаки интенсивной коррозии,

3) наличие деформированных, отсутствующих или поврежденных элементов конструкции.

Во время осмотра необходимо выявлять признаки очевидной перегрузки и недостатков проекта, а также не предусмотренные проектом режимы эксплуатации конструкций ВС. Инспектирование следует выполнять с помощью общего визуального осмотра всех зон конструкций ВС, идентифицированных в качестве критически важных для обеспечения безопасности. Если первый уровень исследования позволил выявить повреждение, необходимо при первой возможности перейти ко второму уровню исследования;

б) во время второго уровня проверки необходимо как минимум выполнить следующие процедуры:

1) общий визуальный осмотр без удаления краски и покрытий всех частей ВС, в том числе опорных конструкций оборудования (согласно вышеприведенному описанию проверки первого уровня),

2) подробный визуальный осмотр всех элементов конструкций, критически важных для обеспечения безопасности,

3) неразрушающий контроль с выборкой не менее 10 % конструктивных элементов, критически важных для обеспечения безопасности.

Если визуальный осмотр не позволяет в полной мере определить степень повреждения, необходимо провести дополнительный неразрушающий контроль;

в) в объеме третьего уровня проверки необходимо как минимум выполнить следующие процедуры:

1) общий визуальный осмотр без удаления краски и покрытий всех элементов ВС, в том числе опорных конструкций оборудования (согласно вышеприведенному описанию проверок первого и второго уровней),

2) подробный визуальный осмотр всех элементов конструкций, критически важных для обеспечения безопасности,

3) подробный неразрушающий контроль всех элементов конструкций, критически важных для обеспечения безопасности;

г) для четвертого уровня проверки отсутствуют требования в отношении конструкций ВС.

15.3.4 Специальные проверки

В случае необходимости выполняются следующие специальные проверки:

- оценка ремонтных работ, выполненных для обеспечения целевой пригодности конструкций ВС: общий визуальный осмотр, проводимый приблизительно через год после завершения ремонта;

- текущий контроль известных дефектов, повреждений, локальной коррозии или других дефектов, способных потенциально повлиять на пригодность для назначенной цели конструкции ВС, стояков

трубопроводов, направлений скважин, а также прочих конструкций и оборудования, критически важных для обеспечения безопасности;

- конструкции ВС, которые планируют использовать повторно.

15.3.5 Внеплановые проверки

Проверку следует выполнять в максимально возможные сроки после возникновения внешних условий (например, шторм, землетрясение), на которые МНГС не рассчитано, или после аварийной ситуации (например, столкновение с судном, падение предмета, пожар или взрыв). Проверка должна предусматривать общий визуальный осмотр всех критически важных конструкций и опор, в том числе опор оборудования, трубопроводов, направлений, стояков и вспомогательных конструкций:

- с целью выявления признаков повреждения;
- подтверждения целостности систем защиты от коррозии.

При обнаружении признаков значительного повреждения покрытий или конструкций ВС необходимо выполнить подробный визуальный осмотр. Всесторонний неразрушающий контроль следует выполнять исходя из конкретных результатов визуального осмотра.

16 Оценка существующих верхних строений

Требования, предъявляемые к оценке существующих конструкций ВС, приведены в ГОСТ Р 54483. Данные требования следует применять ко всем конструкциям ВС, охваченных настоящим стандартом, с последующей оценкой воздействий и сопротивлений, подробно описанных в настоящем стандарте для подходящих случаев. Допускается учитывать соответствующие рекомендации, представленные в [4].

Требования данного раздела не распространяются на МНГС, введенные в эксплуатацию до дня введения в действие настоящего стандарта.

17 Повторное использование верхних строений

При необходимости и целесообразности повторного использования ВС после окончания срока эксплуатации месторождения следует провести проверку элементов конструкции ВС в соответствии с дополнительными рекомендациями, приведенными в А.11 (приложение А).

Приложение А
(справочное)

Дополнительная информация и рекомендации

А.1 Взрывы (см. 8.12.4)

А.1.1 Методы анализа

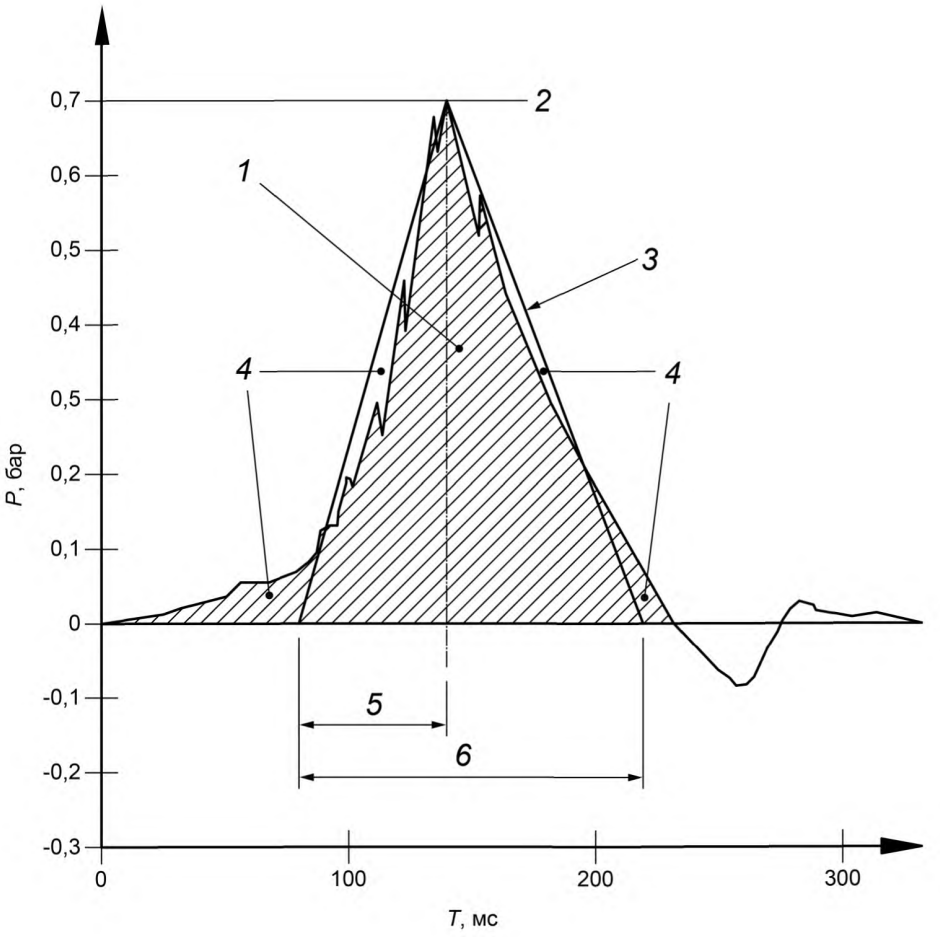
Избыточное давление взрыва на сооружение может меняться в диапазоне от 0 (небольшие сооружения с проницаемыми конструкциями) до более чем 0,8 МПа (8 бар) (сооружения с непроницаемыми конструкциями). Традиционные методы вычислений избыточного давления взрывных волн оказываются неприменимыми к морским нефтегазопромысловым сооружениям. Уравнения, составленные для применения на суше, не всегда учитывают значительную турбулентность, создаваемую фронтом пламени по мере его прохождения вокруг оборудования в открытом море. В результате традиционные методы могут значительно занизить значения давления взрывной волны, поэтому такие методы не следует использовать. Целесообразно использовать следующие методики:

- аэродинамические расчеты;
- феноменологические модели.

Модели должны позволять прогнозировать оба типа воздействий взрывных волн: избыточное давление и аэродинамическое воздействие. При проектировании взрывоустойчивых ВС необходимо учитывать оба типа воздействий. Выбранные модели должны позволять идентифицировать области чрезвычайно высокого избыточного давления. Использование лишь одного общего уровня давления может оказаться недостаточным.

А.1.2 Избыточное давление

Воздействие взрывных волн обусловлено повышением давления при расширении продуктов горения. Такие воздействия характеризуются кривой зависимости давления от времени. Пример такой зависимости показан на рисунке А.1. Необходимость учета воздействия взрывной волны может повлиять на проектирование многих элементов. При идеализации кривой зависимости давления от времени необходимо сохранить на определенном уровне значения важных характеристик. К таким характеристикам относятся скорость повышения давления, пиковое избыточное давление и площадь области, охваченной кривой. Для динамических и квазистатистических воздействий может потребоваться учет участка отрицательного давления на кривой.



P — мгновенное избыточное давление, бар (1 бар = 0,1 МПа); *T* — время с момента воспламенения, мс; *1* — импульс, $\int_0^{t_d} p(t)dt$;

2 — пиковое избыточное давление; *3* — идеализированные кривые избыточного давления; *4* — идеализированный импульс (действительный импульс); *5* — идеализированная длительность нарастания; *6* — идеализированная длительность импульса.

Рисунок А.1 — Зависимость избыточного давления от времени

А.1.3 Аэродинамическое воздействие

Аэродинамическое воздействие создается взрывной волной. Для небольших изолированных препятствий аэродинамическое воздействие пропорционально квадрату скорости газа, плотности газа, коэффициенту лобового сопротивления и площади поперечного сечения анализируемого объекта. Критически важные трубопроводы, оборудование и прочие части, открытые для воздействия взрывной волны, должны быть спроектированы с учетом необходимости противостояния прогнозируемым аэродинамическим воздействиям. Коэффициенты лобового сопротивления необходимо выбирать с надлежащим учетом числа Рейнольдса.

При наличии более крупных и групповых препятствий аэродинамическое сопротивление может возрастать под влиянием других воздействий, таких как инерциальные эффекты в ускоряющемся потоке, турбулентность, вибрации вихревого происхождения и торможение потока для больших чисел. В таких условиях воздействия вычисляют напрямую с использованием разности давлений входящего и исходящего потоков или коэффициентов аэродинамического сопротивления, которые надлежащим образом учитывают эти факторы.

Кроме прямого воздействия взрывной волны, конструкция может подвергаться сопутствующим воздействиям, таким как собственная масса и переменные рабочие воздействия. При анализе взрывов воздействиями окружающей среды допускается пренебрегать. Во время динамического анализа необходимо учитывать массу каждого объекта, связанного с воздействиями на месте эксплуатации.

Взаимное расположение небольших элементов конструкций, трубопроводов и оборудования может оказаться существенным фактором, который следует принять во внимание. Давление и характеристики взрыва невозможно точно оценить без учета репрезентативного скопления в рамках геометрической модели, используемой для анализа концепции ВС.

Данные факторы необходимо принимать во внимание при выборе аналитического метода и разработке геометрической модели.

Если подробная планировка сооружения и расположения оборудования не подготовлена на момент вычисления давления взрывных волн, воздействия и последствия могут базироваться на оценках, сделанных с использованием репрезентативных геометрических моделей (учитывают ожидаемое расположение оборудования), аналогичных геометрических моделей или предыдущих исследований геометрически подобных сооружений.

Следовательно, при выборе конструкции МНГС важно минимизировать плотность компоновки оборудования. Кроме того, полезно отделить зоны плотной компоновки оборудования с помощью открытых непереполненных зон аналогично береговым сооружениям.

Степень опасности взрывов зависит от барьеров, расположенных между зоной, затронутой взрывом, и персоналом и/или системами в прилегающих областях. Необходимо убедиться, что соединения соответствуют полной пластической прочности элементов конструкций. Воздействия взрывных волн могут распространяться в направлении, противоположном воздействию силы тяжести. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании соединений. Динамические воздействия создают быстрые деформации, которые в совокупности с механическими напряжениями высокой концентрации могут послужить причиной разрушений.

Во время анализа аварийных воздействий все частные коэффициенты $\gamma_{f,G}$ и $\gamma_{f,Q}$ можно уменьшить до 1,0 и использовать наилучшие оценки пределов текучести. Скорости деформаций и результаты механического упрочнения необходимо учитывать при определении предела текучести и общих характеристик материалов.

Главными критериями являются пределы прочности и деформаций или механических напряжений.

А.1.4 Предел прочности

Если прочность имеет приоритетное значение при проектировании, повреждение определяют как событие, когда расчетное значение внутренней силы или момента превышает расчетное воздействие. Расчетное воздействие вычисляют по формуле (2) путем учета любых случайных воздействий и присвоения частным коэффициентам воздействия значения 1,0. Расчетное сопротивление вычисляют по формуле (9) с использованием частного коэффициента сопротивления, равного 1,0. Расчетная прочность должна удовлетворять комбинации этих двух уравнений согласно формул (А.1) и (А.2).

$$F_d = 1{,}0\,G + 1{,}0\,Q + 1{,}0\,A, \tag{А.1}$$

$$S_d \le R_D = K_c \frac{R_{K,\,code}}{1{,}0}, \tag{А.2}$$

где F_d — расчетная величина воздействия;

G — постоянное воздействие;

Q — переменное воздействие;

A — воздействие, обусловленное случайной ситуацией;

S_d — расчетное значение внутренней силы или момента, обусловленное F_d;

R_D — расчетное значение устойчивости;

K_c — коэффициент соответствия строительным нормам и правилам (см. 9.1);

$R_{K,\,code}$ — характерное сопротивление конструкции или элемента.

А.1.5 Предел деформации

Пластическая деформация может оказаться допустимой после аварийной ситуации. В подобных случаях важно следующее:

а) никакая часть конструкции не ударяет по критически важному оборудованию;

б) деформации не приводят к разрушению какой-либо части конструкции, которая поддерживает критически важное оборудование, безопасную зону, маршруты эвакуации или места сбора; следует убедиться в сохранении целостности после возникновения последующего пожара;

в) деформации не способствуют распространению аварийной ситуации (например, путем повреждения целостности стояка или управления клапаном аварийного останова).

Пределы деформации можно определять на основе максимально допустимых механических напряжений или абсолютного смещения. Абсолютное смещение может возникать в результате пластического изгиба и поворота элементов конструкций.

А.1.6 Пределы механического напряжения

Конструкционные стали, используемые в морских сооружениях, как правило, обладают достаточной ударной вязкостью и не ограничиваются в способности к деформации без разрушения при высоких скоростях деформаций, связанных с откликом на взрыв. Для регионов с холодным климатом или стали с низкой вязкостью разрушения может потребоваться снижение пределов механических напряжений.

В общем случае пределы деформации растяжения связаны с информацией об удлинении, содержащейся в заводских сертификатах или спецификациях материалов. Нет необходимости устанавливать пределы механических напряжений. Если сопротивление ограничивается деформацией растяжения, подходящие пределы необходимо применять к локальной и общей деформациям. Для поперечного изгиба при наличии плоскостных механических напряжений могут оказаться допустимы более высокие поверхностные деформации. Если в областях высокой деформации находятся сварные изделия или болтовые отверстия, деформацию растяжения следует, как правило, ограничивать значениями, которые соответствуют напряжению при растяжении по средней линии значением не больше 0,9 σ_u (σ_u — конечный предел прочности на разрыв). При ослабляющем влиянии болтовых отверстий не более 10 % необходимо уменьшить предельное значение прочности на растяжение. Поскольку прирост скорости деформации σ_u меньше, чем прирост при меньших деформациях, допустимые деформации оказываются немного выше в случае приложения быстрой нагрузки. Для типичных марок конструкционной стали прочность на растяжение, полученную в рамках анализа методом конечных элементов, необходимо ограничить 5 %.

Критическое растяжение для пластических деформаций секций, содержащих дефекты, следует устанавливать на основе методов механик разрыва. Сварные швы обычно имеют дефекты, поэтому ударная вязкость сварных швов ниже, чем у основного материала. По этим причинам конструкции, испытывающие большие пластические деформации, необходимо проектировать таким образом, чтобы пластические деформации возникали вне сварного шва. В обычных сварных швах с полным проплавлением металла превосходство прочности материала сварного шва относительно основного материала будет гарантировать, что минимальное пластическое деформирование возникает в сварных соединениях даже при переходе в состояние текучести поперечного сечения элемента конструкции. В таких ситуациях критическая деформация возникает в основном материале и зависит от следующего:

- градиенты механических напряжений;
- размеры поперечного сечения;
- наличие концентраций деформаций;
- отношение предела текучести к пределу прочности на разрыв;
- пластичность материалов.

Уровни деформаций следует оценивать с помощью подходящих аналитических моделей распределения деформаций в пластических зонах или с помощью нелинейного анализа методами конечных элементов достаточно детализированный в пластических зонах. Если конструкции проектируются таким образом, что переход в состояние текучести имеет место в основном материале, значение для критической усредненной деформации ε_{cr} в центрально сжатом толстолистовом материале [см. формулу (А.3)] может использоваться вместе с нелинейным анализом конечных элементов или простым пластическим анализом.

Для конечных элементов с $\frac{l}{\delta}$W5 значение критической средней деформации ε_{cr} вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{cr} = 0{,}02 + 0{,}65\,\frac{\delta}{l}, \qquad (А.3)$$

где l — наибольшая боковая длина в модели конечных элементов;

δ — толщина конечного элемента.

А.1.7 Пределы абсолютной деформации

Пределы абсолютной деформации используют при наличии опасности удара деформированного элемента о другой элемент. Обычно это относится к оборудованию, используемому в технологическом процессе, чрезвычайной ситуации или ключевым элементам конструкций.

Анализируемый элемент конструкции должен прогибаться и деформироваться без повреждений, обусловленных, например, локальным выпучиванием или разрывом, инициированным в точках концентрации локальных механических напряжений (элементы конструкций, сварные швы и вырезы). Механические напряжения, возникающие в палубах плавучих сооружений при неправильном распределении балласта или грузов, могут снизить пластическую прочность и привести к отклонению за предел плоскости во время взрыва или пожара.

Живучесть смонтированных на палубе критически важных элементов обеспечения безопасности может потребовать использования нижних пределов пластичности конструкций с целью ограничения деформаций и ускорений опор оборудования. Аналогичным образом возможно снижение полного сопротивления конструкций ВС к воздействиям взрывных волн, когда пиковое избыточное давление взрыва, достигнутое на пределе пластичности конструкции, превышает сопротивление критически важных элементов обеспечения безопасности.

А.1.8 Методы анализа

Отклик конструкций на воздействия взрывных волн можно определить с помощью следующих методов:

- статический и квазистатический анализ;
- линейный динамический анализ (для конструкций без запаса прочности, обусловленного критериями предельной прочности);
- простые расчетные модели на основе аналогов с одной степенью свободы и упругопластические методы анализа или
- нелинейный динамический анализ методом конечных элементов.

Конструкции могут проектироваться с учетом необходимости упругого или пластичного отклика на давление взрывной волны. В последнем случае прочность конструкций будут превосходить уровни взрыва. При проектировании данное обстоятельство можно учесть путем указания двух различных уровней взрыва:

- взрыв, нарушающий прочность, возможен с вероятностью 10^{-2} на протяжении года;
- взрыв, приводящий к пластическим повреждениям, возможен с вероятностью 10^{-4} на протяжении года.

Два этих варианта аналогичны экстремальному и аномальному шторму.

Расчет и анализ взрывов, нарушающих прочность, выполняется намного легче и быстрее на этапе проектирования, чем оценка взрывов, наносящих пластические повреждения. Дополнительным преимуществом может служить то обстоятельство, что проверка оценки взрывов, нарушающих прочность, на соответствие требованиям действующим нормам и правилам является эффективным средством отбора для всех элементов конструкций, при этом необязательно выполнение нелинейного анализа конечных элементов. По этой причине оценку взрывов, нарушающих прочность, рекомендуется выполнять при проектировании всех конструкций.

Для расчетных ситуаций при наличии взрывов, нарушающих прочность, конструкция не должна необратимо повреждаться взрывом, однако окончательный выбор конструкций ВС должен учитывать воздействие взрывов, наносящих пластичные повреждения.

Окончательная приемка на основе взрывов, наносящих пластичные повреждения, должна продемонстрировать следующее:

а) отсутствие внезапного или прогрессирующего разрушения всей конструкции ВС;

б) отсутствие чрезмерного повреждения критически важных элементов обеспечения безопасности, например, за счет ограничения отклонений и ускорений конструкции (исключение потенциала распространения);

в) отсутствие повреждения конструкции, которые значительно влияют на последующую огнестойкость.

Для расчета взрывов, нарушающих прочность, обычно используют методы одной степени свободы совместно с квазистатическим анализом и линейным анализом методом конечных элементов согласно требованиям соответствующих норм и правил.

Взрывы, наносящие пластичные повреждения, допускается рассчитывать с помощью методов одной степени свободы, но при условии возможности определения пределов пластической деформации строительных элементов и применения типичной зависимости перемещения от нагрузки для конструкций ВС. Возможно возникновение трудностей при определении пределов пластической деформации и типичной зависимости деформации от нагрузки для сложных конструкций, поэтому оценка взрывов, наносящих пластичные повреждения, чаще всего выполняют с помощью нелинейного анализа методом конечных элементов.

Тип анализа конструкций следует выбирать на основе характеристик взрыва и длительности импульсного давления взрывной волны относительно периода собственных колебаний конструкции или элемента. Для небольших избыточных давлений может оказаться достаточным применение линейно-упругого анализа и коэффициентов, учитывающих динамический отклик. Высокие избыточные давления могут потребовать использования более подробного анализа, учитывающего физические и геометрические нелинейности. Сложность анализируемой конструкции влияет на выбор типа анализа (учитывается одна или несколько степеней свободы).

В случае использования нелинейного динамического анализа методом конечных элементов необходимо смоделировать или специальным образом проанализировать все основные воздействия, например локальный изгиб, конечную пластичность, прочность соединений, взаимодействие с соседними элементами.

А.1.8.1 Статический анализ

Если воздействия взрывной волны оказываются квазистатическими (т. е. продолжительность воздействия намного превышает период собственных колебаний конструкции или элемента конструкции), можно использовать методы статически упругого или статически пластического анализа.

А.1.8.2 Динамический анализ

Если продолжительность воздействия взрывной волны приблизительно равна периоду собственных колебаний конструкции или элемента конструкции, необходимо выполнить линейный или нелинейный динамический анализ. Упрощенные методы, использующие идеализированные зависимости давления от времени, можно применять для вычисления коэффициентов динамического усиления, благодаря которым статические воздействия масштабируются с целью имитации эффектов инерции и быстрых воздействий. Кривая зависимости давления от времени, полученная с помощью численного аэродинамического анализа в рамках процедуры оценки, может применяться к конструкции или элементу конструкции с целью повышения точности моделирования воздействия взрыва.

В рамках простых расчетных моделей, построенных на основе методов одной степени свободы, элемент конструкции преобразуется в пружинную систему с единичной массой, открытую для импульсных воздействий эквивалентного давления. Для этого используют функции подходящей формы, которые позволяют определить смещения в упругом и упругопластическом диапазонах.

Максимальный отклик на произвольное импульсное давление определяется в рамках метода одной степени свободы путем численного пошагового интегрирования дифференциального уравнения или с помощью интеграла Дюамеля. Максимальное смещение для первичного и обратного отклика должно соответствовать требованиям, предъявляемым к пластичности и сотпротивлению элемента конструкции.

Отклик элемента конструкции можно классифицировать в рамках трех категорий согласно длительности импульса давления взрыва t_d относительно основного периода вибраций T.

В импульсном диапазоне ($t_d / T < 0,3$) максимальное смещение зависит от импульса взрыва:

$$I = \int_0^{t_d} p(t)dt, \qquad (A.4)$$

В динамическом диапазоне ($0{,}3 < t_d/T < 3$) отклик определяется путем интегрирования уравнений динамического равновесия.

В квазистатическом диапазоне ($3 < t_d/T$) максимальное смещение зависит от пикового давления p_{max} и длительности нарастания давления относительно основного периода вибраций исследуемой конструкции или ее элемента. В случае длительного нарастания (например, если t_d/T намного больше 3) максимальную деформацию элемента можно определить с помощью статического равновесия. Если нарастание непродолжительно (например, когда t_d/T близко к 3), будет существовать динамическое усиление.

В ближней зоне импульсное давление при взрыве газа имеет конечную продолжительность нарастания (обычно от 30 % до 70 % длительности импульса), однако в дальней зоне нарастание давления происходит, как правило, мгновенно.

А.1.8.3 Нелинейный анализ методом конечных элементов

В случае использования нелинейного динамического анализа методом конечных элементов тип выбранного алгоритма (прямой или косвенный) должен соответствовать типу анализируемой конструкции, а также ожидаемым потенциальным локальным и глобальным воздействиям. Вследствие практических ограничений моделирования больших сложных конструкций, эквивалентная полная проверка действующих строительных норм и правил, использованных при линейно-упругом анализе, обычно не выполняется в рамках нелинейного анализа методом конечных элементов. Обычно требуется выполнение дополнительных проверок согласно признанным национальным и региональным строительным стандартам с использованием сил и механических напряжений, полученных во время нелинейного анализа методом конечных элементов. Проведение анализа сложных конструкций с использованием нелинейного анализа методом конечных элементов требует полного понимания потенциальных видов повреждений конструкций и учета влияния сопутствующих рабочих воздействий при использовании элементов. В рамках нелинейного анализа методом конечных элементов полную точность моделирования можно проверить путем сравнения определенного случая с результатами такого же случая при линейно-упругом анализе.

Использованная модель нелинейного анализа методом конечных элементов должна содержать исходные дефекты, значение которых достаточно для инициирования локальных и глобальных критических отказов. Начальные смещения можно описать с помощью искаженных координат или функциональных воздействий. Собственные моды, определенные в ходе анализа линейного изгиба, не всегда учитывают достаточное количество дефектов во всех необходимых местах. Вместо более точной информации дефекты следует анализировать на основе заводских допусков.

Кроме моделирования дефектов, необходимо убедиться, что моделирование балок допускает крутильное поведение изгиба.

Во время нелинейного анализа методом конечных элементов необходимо рассмотреть достаточное количество воздействий взрывов и обеспечить достаточную продолжительность моделирования, чтобы гарантировать охват всех сценариев взрывов.

Документация, связанная с анализом методом конечных элементов, должна содержать результаты нормативных проверок и заявление о допустимом постоянном повреждении при взрыве. Благодаря этому входные строительные данные, используемые для анализа реакций на возгорание, можно согласовать с выходными данными анализа взрывов.

Допускается использование общих принципов нелинейного анализа методом конечных элементов, изложенных в [4].

А.1.9 Простые методы расчета

А.1.9.1 Использование упрощенных методов для определения сопротивления элементов

Для проектирования элементов конструкций можно использовать упрощенные методы согласно нижеуказанным рекомендациям:

а) настилы палуб и продольные балки:

1) балки рабочей палубы соединены с настилом палубы и вспомогательной стальной ферменной конструкцией, поддерживающей настил (продольные балки) при поперечном и крутильном воздействиях. Настилы и продольные балки могут способствовать перераспределению нагрузок и траекторий нагружения в аварийных ситуациях. Кроме того, палубные настилы и продольные балки следует проектировать таким образом, чтобы они имели более высокую прочность при воздействии взрывных волн по сравнению с балочными фермами, которые их поддерживают. В зоне взрыва возможен широкий пространственный разброс давлений взрывных волн, поэтому усредненные давления (применительно к проектированию палубной балочной фермы) будут меньше, чем локальные пиковые давления (применительно к проектированию палубного настила и продольных балок),

2) если предполагается, что палубный настил и продольные балки разрушатся раньше опорных балок, при оценке прочности и предела пластической упругой деформации балок необходимо учесть сильное разрушающее воздействие на продольные балки,

3) совместное воздействие этих факторов традиционно расширено для настила палубы и ребер жесткости с учетом как минимум двух-, трехкратного запаса прочности опорных балочных ферм при квазистатическом

воздействии давления взрывных волн. В результате проектируемая палуба должна обладать повышенным сопротивлением к пластическим деформациям и пожарам,

4) упругопластическое сопротивление можно довольно хорошо определить с помощью упругих и упругопластических методов расчета. Для плит, непрерывно нагруженных на протяжении нескольких пролетов, можно оценить условия защемленных границ. Предположение об отсутствии ограничений для смещений внутрь всегда приводит к заниженным оценкам. При учете благоприятного воздействия мембранных сил необходимо продемонстрировать способность смежной конструкции зафиксировать мембранные силы. Гибкость смежной конструкции может задержать наращивание мембранных сил. Необходимо учитывать предельную пластичность. В большинстве случаев сопротивление настила не является ограничивающим фактором, поскольку элементы жесткости начнут разрушаться до того, как настил достигнет своей критической деформации,

5) для продольных балок настила нередко применяется идеализация. Однако необходимо убедиться, что продольные балки не подвергаются значительному расцеплению, нарушающему их сопротивление. Если соединения и смежная конструкция могут фиксировать возникшие силы, благоприятное влияние мембранных сил в диапазоне больших прогибов может приниматься во внимание при условии учета снижения предела изгибной прочности вследствие мембранного механического напряжения в продольных балках. Необходимо также учесть возможность разрывов, обусловленных чрезмерными механическими напряжениями;

б) балка или балочная ферма:

1) балки и балочные фермы с тонкими поперечными сечениями следует проверять на наличие локальных разрушений при сдвиге и изгибе. Для определения предела прочности можно использовать концепцию поля растяжения. Прочность в ограниченной области может оказаться значительной, однако этот эффект как правило не учитывают. Деформации сдвига способны оказывать значительное воздействие на отклики балок и балочных ферм с защемленными концами и малыми отношениями длины к высоте,

2) палубные балочные фермы зачастую взаимодействуют с прилегающими палубными плитами в рамках составной секции, которая приводит к смещению вверх из позиции нейтральной оси. В этом случае повышается осевой момент сопротивления сечения, что изменяет класс сечения и прочность при пластическом изгибе. Аналогичным образом мембранные силы в смежном палубном настиле могут приводить к возникновению сил осевого сжатия в балочных фермах. В результате возможно снижение прочности при изгибе. Другие эффекты (например, поперечные палубные балки и вырезы для поперечных элементов жесткости) могут стабилизировать сжатую полку относительно кручения, а также способны повлиять на класс сечения и прочность при пластическом изгибе,

3) для областей отрицательных изгибающих моментов требуется периодическая поперечная стабилизация нижней полки балки, чтобы предотвратить поперечный изгиб с кручением перед формированием полного момента сопротивления секции. Палубные балочные фермы морских ВС могут подвергаться поперечным воздействиям взрывных волн,

4) Если балочные фермы используются в качестве опор труб, поперечные воздействия взрывной волны на поддерживаемые трубы и кабельные кронштейны могут привести к значительным дополнительным поперечным дестабилизирующим воздействиям на балочные фермы. Если анализ балочных ферм во временной области выполняется без учета этих дополнительных воздействий, поперечной неустойчивостью можно пренебречь без занижения результатов анализа.

А.1.9.2 Пределы упругой деформации и локальный продольный изгиб

Максимальная деформация элемента конструкции ограничивается локальным местным продольным изгибом на стороне сжатия или разрывом на стороне растяжения поперечных сечений, подвергающихся ограниченному вращению. Если элемент конструкции удерживается от осевого смещения внутрь, любой локальный продольный изгиб возникает раньше, чем деформация растяжения, обусловленная мембранным удлинением, превосходит влияние деформации сжатия, вызванной вращением. При отсутствии локального продольного изгиба дальнейшее отклонение может происходить до момента разрыва, когда деформация растяжения, обусловленная совместным воздействием вращения и мембранного удлинения, превышает критическое значение. Поперечные сечения должны соответствовать требованиям первого класса, чтобы обеспечить поддержание достаточного момента сопротивления для элементов конструкций с небольшим осевым ограничением во время значительного пластического углового смещения. Пределы пластичности балок первого класса ограничены начальным моментом локального продольного изгиба.

Кромка армированного палубного настила должна оцениваться с помощью методов одной степени свободы. Зарождение локального продольного изгиба не обязательно предполагает отсутствие устойчивости к рассеиванию энергии, в частности, для поперечных сечений первого и второго классов. При наличии подходящей информации возможен учет снижения прочности поперечных сечений в диапазоне после продольного изгиба.

А.1.9.3 Реакции опор, высвобождение балок и незакрепленные соединения

Чтобы предотвратить сдвиговое разрушение элемента конструкции на опорах, которому предшествует разрушение при изгибе, расчетные реакции опор для элементов конструкций должны как минимум на 20 % превосходить теоретические значения, благодаря чему прочность элементов конструкции оказывается выше аналогичной прочности, полученной в ходе анализа откликов.

Характеристики незакрепленных соединений балочных ферм обычно не устанавливают, если продольные балки простираются через балочную ферму иным образом (т. е. отсутствует непрерывность прочности нижней полки балки). Однако такие высвобождения моментов могут оказаться полезными для улучшения схемы распреде-

ления нагрузки в палубных конструкциях, особенно при деформациях палубы за пределами диапазона упругости. Преднамеренные высвобождения могут указать нижний допуск для пластического вращения в областях положительного изгибающего момента.

А.1.9.4 Свойства материалов для проектирования

Скорость деформации влияет на предел текучести и напряжение текучести. Повышение прочности, обусловленное скоростью деформации, является благотворным с точки зрения прочности, однако способно негативно повлиять на класс сечения и пластическую деформацию. Важно правильно согласовать упрочнение и скорость деформации. Для проектирования новых ВС, как правило, используют минимальный предел текучести, однако вместо определенного минимума допускается применять «вероятную» прочность материала при наличии таких данных. Значения прочности должны определяться на основе испытаний материалов для каждого элемента (например, с помощью сертификатов качества материалов).

А.1.9.5 Минимизация последствий взрывов

Последствия взрывов обычно можно минимизировать с помощью следующих мер:

- наличие большой вентиляционной зоны максимально возможной площади;
- хорошее распределение воздушных потоков в вентиляционной зоне;
- группирование по типу, размеру и местоположению внутреннего оборудования;
- использование перегородок для локализации взрыва.

Системы активного подавления и минимизации последствий допускается использовать для уменьшения воздействий взрывов в соответствующих обстоятельствах.

Вентиляционные зоны должны располагаться как можно ближе к потенциальным источникам воспламенения, чтобы минимизировать давление взрывной волны. Кроме того, необходимо учесть влияние размеров вентиляционных зон и местоположение при образовании воспламеняемого облака. Желательно располагать оборудование, трубопроводы, кабельные желоба и прочие элементы конструкции подальше от вентиляционных зон, чтобы минимизировать воздействие на них со стороны взрывной волны и полностью использовать вентиляционные зоны. Стеновые панели с аварийными окнами и жалюзи могут обеспечить дополнительный сброс давления во время взрыва, однако этого недостаточно для высоких избыточных давлений. Легкосбрасываемые конструкции должны проектироваться с учетом необходимости быстрого открывания при очень низких давлениях, чтобы обеспечить высокую эффективность сброса избыточных давлений. Принимая во внимание, что использование легкосбрасываемых конструкций базируется на испытаниях среднего масштаба при небольшом скоплении оборудования, необходимо проанализировать их влияние на риски, в частности, когда их используют с целью ограждения открытых перегородок. Давление взрывной волны, необходимое для раскрытия панелей, должно быть как можно низким, однако его не следует снижать до такой степени, что панели будут открываться под напором порыва ветра.

Примечание — Давление ветра по меньшей мере на порядок ниже давления взрывной волны.

Взрывозащитные перегородки и перекрытия можно использовать для отдельных частей ВС, чтобы взрыв в пределах одной зоны не повлиял на смежные зоны. При таком подходе взрывозащитные перегородки и перекрытия должны без повреждений выдерживать избыточные давления. Разрушение этих конструкций может сопровождаться образованием осколков и дальнейшим распространением повреждений. Взрывозащитные перегородки и перекрытия обычно располагаются параллельно противопожарным элементам конструкции, поэтому необходимо обеспечить их целостность после взрыва. Любые элементы пассивной противопожарной защиты, прикрепленные к перегородке или перекрытию, должны сохранить свои функциональные свойства после взрыва, однако во время проектирования необходимо учитывать утрату такой огнезащиты.

Взрывная волна распространяется из зоны взрыва, превращаясь в ударную волну, которая воздействует на персонал и оборудование в дальней области. Такие волны обычно существуют непродолжительное время, очень динамичны и обладают областями значительного разряжения. При отражении взрывных волн возрастающее давление может увеличивать приложенные воздействия, что приводит к росту числа погибших и раненых в таких зонах.

По возможности воздействия взрывных волн должны оцениваться и использоваться для проектирования инфраструктуры, а также временных укрытий.

А.2 Пожары (см. 8.12.5)

А.2.1 Расчетные возгорания

Для оценки воздействия пожаров используют следующие факторы:

- сценарий пожара, в том числе его продолжительность;
- характеристики теплового потока, направленного от места возгорания к защищенным и незащищенным стальным элементам конструкций;
- свойства материалов при повышенных температурах;
- характеристики противопожарных систем (активных и пассивных).

Сценарий пожара должен содержать описание типа пожара, местоположения, геометрии и интенсивности. Среди типов пожаров различают возгорания вследствие разлива углеводородов, струйное горение углеводородов и другие менее значимые типы пожаров. Местоположение и геометрия пожара характеризуют положение очага горения относительно конструкции, тогда как интенсивность (тепловой поток) позволяет указать количество тепло-

ты, создаваемое очагом горения. Конструкция и оборудование, охваченные пламенем, подвергаются большему тепловому воздействию, чем неохваченные. Сценарии пожаров можно идентифицировать в ходе анализа технологических рисков.

Тепловой поток, направленный от очага горения к элементам конструкций (путем излучения, конвекции и теплообмена), вычисляют с целью определения температуры каждого элемента в зависимости от времени. Температура незащищенных элементов, охваченных пламенем, зависит от конвекции и излучения, в то время как температура защищенных элементов, охваченных пламенем, зависит от теплопроводности изолирующего материала. Количество излученной теплоты, достигающей поверхности элемента, определяют с помощью геометрической конфигурации или форм-фактора. Для элементов, охваченных пламенем, используют коэффициент формы, равный 1,0.

Необходимо учитывать тепловые и механические свойства конструкционных материалов при повышенных температурах. Для вычисления температуры материалов необходимо использовать тепловые свойства (удельную теплоемкость, плотность и теплопроводность). Механические свойства (коэффициент расширения, предел текучести и модули Юнга) используют для проверки исходного проекта на соответствие требованиям, предъявляемым к прочности и эксплуатационной пригодности. Воздействия, обусловленные тепловым расширением, могут оказаться важными для жестко закрепленных элементов, поэтому такие воздействия подлежат тщательному анализу.

А.2.2 Воздействия пожаров

Методики прогнозирования пожаров зачастую классифицируют следующим образом:

- эмпирические модели;
- зонные (феноменологические) модели;
- вычислительная аэродинамика;
- модели полей.

Эмпирические модели позволяют получить точные и надежные прогнозы при условии совпадения условий моделирования и базовых экспериментов. Примерами эмпирических моделей могут служить стандартные кривые зависимости температуры от времени при горении целлюлозы и углеводородов. Зонные модели учитывают большинство основных явлений, однако уравнения ограничены одной степенью свободы (уравнения выражают условия в каждой зоне и потоки на границах между этими зонами). Эмпирические и зонные модели не позволяют моделировать и прогнозировать процесс горения. Модели вычислительной гидродинамики позволяют выполнить анализ установившихся или переходных состояний в трех измерениях путем применения базовых законов физики (например, сохранения массы, момента и энергии), а также вспомогательных моделей возникновения и рассеяния турбулентности, образования сажи и химических реакций, связанных с горением. Модели прогнозирования пожаров применяются для топлив и горючих материалов с хорошо известными свойствами (например, газа или нефти), однако такие модели оказываются менее пригодными для материалов, характеристики горения которых изучены в недостаточной мере (например, дерево, строительные материалы и т. д.). Аэродинамические вычисления позволяют определить характеристики излучаемых и конвекционных тепловых потоков, воздействующих на окружающие конструкции, а также позволяют определить характеристики выделения и движения дыма.

Анализ на основе методов вычислительной аэдродинамики позволяет получить наиболее глубокое понимание процессов и предоставляет широчайшие возможности прогнозирования, однако сложен с точки зрения математического моделирования и требует больших вычислительных ресурсов. В подходящих случаях можно использовать упрощенные методы и анализ методом конечных элементов. Для пассивной противопожарной защиты строгое численное решение может оказаться очень затруднительным вследствие значительного различия тепловых свойств конструкционных материалов и элементов пассивной противопожарной защиты. Необходимо использовать эквивалентный коэффициент теплопередачи, который получен на основе экспериментальных измерений.

А.2.3 Проектирование с учетом возгораний

Пожарная нагрузка может учитываться с использованием одного из следующих подходов:

а) зональный метод

Зональный метод предполагает, что в нормальных ситуациях каждый элемент используется целиком, при этом полный коэффициент прочности конструкционной стали соответствует механическим напряжениям на уровне 60 % предела текучести при нормальных условиях (без пожара). Вследствие этого максимальная допустимая температура определяется как температура, при которой предел текучести снижается до 60 % этого значения в диапазоне нормальных температур. Например, для конструкционной стали максимально допустимая температура — 400 °С. Пассивную противопожарную защиту применяют с целью недопущения нагрева всех стальных конструкций выше этой температуры. Толщина теплоизоляции зависит от характеристик теплового потока и свойств пожарозащитных материалов.

В случае приемлемости более высоких скоростей деформаций возможен нагрев до более высоких температур (см. таблицу А.1), при этом, однако, необходимо проанализировать снижение жесткости стали, что усложнит зональный метод.

Таблица А.1 — Максимально допустимая температура стали в зависимости от деформации для использования в рамках зонального метода

Деформация, %	Максимально допустимая температура, °С
0,2	400
0,5	508
1,5	554
2,0	559

б) метод линейно-упругих деформаций

Для метода линейно-упругих деформаций максимально допустимая температура стального элемента определяется на основе уровня механических напряжений в элементе до пожара. С увеличением температуры коэффициент использования элемента (UR) остается ниже 1,00, т. е. элемент продолжает сохранять упругие свойства. Для элементов, которые не подвержены потере устойчивости, допустимое механическое напряжение должно обеспечивать наличие предельных волокон в поперечном сечении при текучести. Предел текучести должен соответствовать средней температуре внутренней части элемента. Например, зависимость максимально допустимой температуры $T_{C,max}$ стального элемента от коэффициента использования (UR) представлена в таблице А.2 для предела деформации 0,2 %.

Таблица А.2 — Зависимость максимально допустимой температуры стали от коэффициента использования (UR)

Максимальная температура элемента $T_{C, max}$, °С	Коэффициент снижения предела текучести при $T_{C, max}$	Коэффициент перехода UR элемента конструкции при температуре + 20 °С к UR при температуре $T_{C, max}$
400	0,60	1,00
450	0,53	0,88
500	0,47	0,78
550	0,37	0,62
600	0,27	0,45

При более высоких температурах снижение модулей Юнга может превысить снижение предела текучести, поэтому необходимо обеспечить неизменность режимов разрушения (в том числе любые формы изгиба) для этих повышенных температур;

в) упругопластический метод (например, анализ прогрессирующего разрушения)

Для упругопластического метода максимально допустимую температуру стального элемента устанавливают на основе уровня механических напряжений в элементе до пожара. По мере повышения температуры коэффициент использования элемента может оказаться выше 1,00, т. е. поведение элемента является упругопластическим. Необходимо выполнить нелинейный анализ, чтобы убедиться в отсутствии разрушения конструкции и ее соответствии критериям эксплуатационной пригодности. Такой анализ должен учитывать температурную зависимость механических напряжений/деформаций и ползучести, а также способность адаптации к большим отклонениям и деформациям.

Линеаризация нелинейного соотношения «механическое напряжение/деформация» для стали при повышенных температурах необходима для программ упругопластического анализа, которые не позволяют использовать температурные зависимости кривых механических напряжений/деформаций.

А.2.4 Анализ теплопроводности в переходном состоянии

Тепловой поток, направленный от очага горения к элементам конструкций (путем излучения, конвекции и теплообмена), вычисляют при анализе теплопроводности в переходном состоянии. Такой анализ допускается выполнять с помощью:

- упрощенных методов;
- метода конечных элементов.

Для вычисления температуры необходимы тепловые свойства конструкционного материала, удельная теплота, плотность и теплопроводность. Внутреннее излучение, направленное от теплых поверхностей к холодным поверхностям, необходимо учитывать для пустотелых и открытых секций, имеющих значительные взаимные формфакторы. При анализе теплопроводности в переходном режиме необходимо учитывать пассивную противопожарную

защиту. Точное моделирование пассивной противопожарной защиты оказывается затруднительным вследствие значительного отличия коэффициентов теплопроводности элементов пассивной противопожарной защиты и строительного материала, а также вследствие сложного физического поведения системы пассивной противопожарной защиты. Вместо этого характеристики пассивной противопожарной защиты можно описывать коэффициентом эквивалентной передачи тепла. Данный коэффициент можно определить в ходе испытаний на огнестойкость. Коэффициент эквивалентной передачи тепла зависит от толщины элемента и соответствует усредненной защите, обеспечиваемой пассивной противопожарной защитой в установившемся состоянии независимо от имеющихся физических процессов. Тип и толщину элементов пассивной противопожарной защиты определяют для типа и интенсивности или степени и продолжительности горения, в течение которой такая защита должна оставаться эффективной. Если горение продолжается по истечении этого периода времени, пассивная противопожарная защита теряет эффективность.

Большие деформации могут оказаться приемлемыми, если допустимы постоянные деформации. При проектировании эффективный предел текучести углеродистой стали может выбираться равным пределу текучести при деформации 2,0 %. При проектировании на основе нелинейного анализа методом конечных элементов вместо более точных значений предел текучести должен предполагаться постоянным значением в диапазоне от 2 % до предельной деформации.

А.2.5 Ползучесть

Ползучесть стали может оказаться значительной при температурах выше 600 °С. Коэффициенты снижения предела текучести неявным образом учитывают ползучесть. Учитывая относительно короткую продолжительность пожаров, оценкой ползучести можно пренебречь в большинстве ситуаций. Однако, если важный элемент сжатия в статически определимой конструкции близок к своей критической температуре на протяжении значительного времени (намного больше 20 мин), влияние ползучести требует явного учета.

Структурный анализ допускается выполнять для различных элементов конструкций или систем, таких как отдельные элементы конструкций, составные части сборок и система целиком.

Оценку результатов воздействий и механических откликов, связанных с пожаром, следует выполнять на основе одного из следующих методов:

а) простые методы расчета, применяемые к отдельным элементам конструкций;

б) нелинейный анализ методом конечных элементов;

в) комбинация простого и нелинейного методов.

Простые методы расчета могут дать чрезмерно заниженные результаты. Нелинейный анализ методом конечных элементов обеспечивает более реалистичное моделирование основных процессов.

А.2.6 Нелинейный анализ методом конечных элементов

А.2.6.1 Общие сведения

Методы структурного анализа для нелинейной оценки предельной прочности допускается классифицировать следующим образом:

- методы на основе зависимости механического напряжения от деформации;
- методы на основе результирующего механического напряжения (пластический шарнир).

Методы на основе зависимости механических напряжений от деформаций учитывают нелинейные характеристики материалов на уровне волокон. Методы на основе результирующего механического напряжения учитывают нелинейные характеристики материалов с помощью аналитических решений уравнений взаимодействия сил и моментов поперечного сечения.

А.2.6.2 Моделирование физических свойств углеродистых сталей

Для анализа механических напряжений и деформаций конструкций из углеродистой стали необходимо использовать температурные зависимости напряжений от деформаций.

При проектировании на основе результирующих механических напряжений допускается использовать температурное понижение модулей упругости. Температурное понижение предела текучести следует учитывать при проведении моделирования.

А.2.6.3 Начальное отклонение от прямолинейности

При нелинейном анализе методом конечных элементов необходимо использовать модель, которая учитывает начальное нарушение прямолинейности элементов, достаточное для порождения всех локальных и глобальных разрушений, которые могут стать критическими. Такое начальное нарушение прямолинейности можно описать с помощью искаженных координат или вынужденных функциональных воздействий. Собственные колебания, определенные в ходе линейного анализа изгиба, не всегда позволяют получить достаточные несовершенства для всех необходимых местоположений. Вместо более точной информации допускается использовать нарушение прямолинейности, установленное следующим образом:

- значения производственного допуска с множителем 1,0 в случае точного моделирования градиентов температур поперечных сечений или
- значения производственного допуска с множителем 2,5 в случае приблизительного моделирования градиентов температур поперечных сечений.

Начальное нарушение прямолинейности следует применять к каждому физическому элементу конструкции. Если элемент моделируют с использованием нескольких конечных элементов, начальное нарушение прямолинейности следует применять в виде смещенных узлов. Начальное нарушение прямолинейности должно быть ориентировано в том же направлении, что и деформации, обусловленные градиентами температур.

А.2.6.4 Локальный изгиб поперечного сечения

Если используют моделирование оболочек, необходимо убедиться, что программное обеспечение и модель позволяют прогнозировать локальные изгибы с достаточной точностью. При необходимости локальные дефекты оболочки следует анализировать аналогично методике, используемой в А.2.6.3 для поперечной деформации балок.

Если используют моделирование балок, локальный изгиб поперечного сечения следует анализировать в явном виде.

Вместо более точного анализа поперечные сечения, подвергнутые пластическим деформациям, должны удовлетворять требованиям компактности:

- первый класс. Местоположения с пластическими шарнирами (приблизительно полное пластическое использование);
- второй класс. Местоположения с переходом шарниров в состояние текучести (частичная пластификация).

Если этот критерий не удовлетворяется, воздействия пластических деформаций следует анализировать в явном виде. Прочность будет существенно снижаться после начала изгиба, но по-прежнему останется значительной. В рамках консервативного подхода дальнейший анализ выполняют после исключения соответствующего элемента.

Требованиями компактности для поперечных сечений первого и второго классов можно пренебречь при условии, что элемент развивает значительное мембранное растяжение по мере его конечного перемещения.

А.2.6.5 Пределы деформаций

Пластичность балок и соединений при повышенных температурах превосходит аналогичные характеристики для нормальных условий. Вместо более точного анализа необходимо использовать положения для элементов конструкций, подверженных взрывам:

а) растягиваемые элементы

Вместо более точного анализа можно предположить среднее удлинение 3 % длины элемента при разумно одинаковой температуре. Локальные температурные пики могут локализовать пластические деформации. Использование критических деформаций для стали при нормальных температурах приводит к заниженным оценкам;

б) соединения

Вместо более точных вычислений прочность соединения при температуре θ допускается вычислять по формуле

$$R_\theta = k_{y,\theta} R_0, \qquad (A.5)$$

где R_θ — прочность соединения при максимальной температуре θ;

R_0 — прочность соединения при нормальной температуре;

$k_{y,\theta}$ — коэффициент уменьшения предела текучести при максимальной температуре θ соединения.

А.2.6.6 Надежность вычислений

Принимая во внимание неопределенности, неявно выраженные в процессе пожара, переходная теплопередача, механический отклик и вычисления методик нелинейного конечно-элементного анализа следует проверять путем увеличения функциональных воздействий для наиболее критического периода горения во время пожара. Если конструкция остается нетронутой при увеличении функциональных воздействий на 10 %, можно считать, что конструкция имеет достаточное сопротивление к воздействиям пожара. В иных случаях необходимо провести более точный анализ, например упругопластический.

Для упругопластического метода максимально допустимую температуру стального элемента определяют на основе уровня механических напряжений до пожара, при этом по мере увеличения температуры коэффициент использования элемента может превысить 1,00, т. е. поведение элемента является упругопластическим. Необходимо выполнить нелинейный анализ, чтобы убедиться в отсутствии разрушения конструкции и ее соответствии критериям эксплуатационной пригодности.

А.2.7 Минимизация последствий пожаров

Минимизация последствий пожаров может обеспечиваться системами активной и пассивной противопожарной защиты, которые гарантируют отсутствие превышения максимальных допустимых температур элементов в течение определенного периода времени. Кроме того, системы активной и пассивной противопожарной защиты способны подавлять распространение пожара. Предполагаемый период защиты вычисляют на основе ожидаемой продолжительности пожара или необходимой длительности эвакуации (в зависимости от того, что короче) и используют для точного определения характеристик материалов и их толщины.

Материалы системы пассивной противопожарной защиты обладают различной огнестойкостью. Такие материалы используют для оболочечного покрытия отдельных элементов конструкций или формирования противопожарных перегородок, которые ограничивают или предотвращают воздействие огня на отсеки, маршруты эвакуации и безопасные зоны. Категории различных типов противопожарной защиты определяют на основе испытаний с использованием набора температурных кривых, зависящих от времени. Данные оценки применяют к материалам пассивной противопожарной защиты для пролитых горючих жидкостей. Особое внимание необходимо уделять

применению материалов для пассивной защиты от струйного пламени, обеспечению защиты балок, силового набора и опорам оборудования, критически важного для обеспечения безопасности.

Активная противопожарная защита может обеспечиваться с помощью воды, пены и, в некоторых случаях, газа, которые подаются на место пожара специальным оборудованием, предварительно установленным для этой цели.

А.3 Взаимосвязь между взрывом и пожаром (см. 8.12.6)

А.3.1 Общие сведения

Во многих случаях возникают противоречия между противопожарными и противовзрывными технологиями. Например, чтобы противостоять пожару конструкция может быть разделена на небольшие зоны с помощью противопожарных перегородок. Однако такое разделение может повысить избыточное давление при возникновении взрыва. Снижение избыточного давления взрыва возможно за счет уменьшения числа ограничивающих элементов. Для этого используют открытые блоки, обеспечивающие беспрепятственный доступ наружу. В результате возникает прямое противоречие со схемой ограничения пожара. Такое противоречие необходимо учитывать при проектировании ВС.

Необходимо провести совместную оценку пожаров и взрывов, при этом необходимо внимательно проанализировать их взаимное влияние. Более вероятно, что взрыв произойдет первым, после чего возникнет пожар. Однако возможны случаи, когда начавшийся пожар становится причиной взрыва. Процедура подробной оценки конструкций, подвергающихся воздействию пожаров и взрывов представлена на рисунке 2. При оценке пожаров и взрывов необходимо продемонстрировать живучесть маршрутов эвакуации и безопасных зон.

Подразделы А.3.2—А.3.6 содержат практические рекомендации по проектированию конструкций, устойчивых к воздействиям пожаров и взрывов.

А.3.2 Палубный настил

Во время пожаров и взрывов настил палубы может порождать поперечные силы, а не сжатие элементов конструкции палубы. Необходимо учесть данный фактор при моделировании конструкций настилов палубы.

В общем случае анализ палубы следует выполнять для последовательности балок. Эффективную ширину настилов палубы следует учитывать во время анализа, поскольку способна повлиять на расчет периода собственных колебаний палубы. Палубы с металлическим покрытием обычно деформируются пластически в направлении вне плоскости при условии, что происходит адекватное функционирование первичной опорной конструкции.

А.3.3 Взрывозащитные и противопожарные перегородки

В проекте следует предусмотреть максимально возможное смещение взрывозащитных и противопожарных перегородок к середине пролета ВС, при этом:

а) противопожарная защита должна сохранять целостность при определенной деформации;

б) элементы конструкции, укорачивающиеся при больших поперечных смещениях, могут оказывать сильные воздействия на верхние и нижние узлы соединения;

в) вращательная способность концевых соединений должна соответствовать требованиям недопущения предварительного разрыва.

Проемы для трубопроводов, электрооборудования, систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны быть расположены как можно ближе к верхнему или нижнему краю перегородки в местах маловероятных деформаций. Однако для противодействия взрывным волнам может потребоваться армирование проемов с целью предотвращения ухудшения прочностных и изгибных свойств перегородок.

А.3.4 Балки и соединения

Элементы конструкций, имеющие изгиб, могут испытывать значительные осевые воздействия во время пожаров и взрывов. Такие осевые воздействия могут повлиять на прочность и жесткость элементов конструкций. Любой дополнительный изгибающий момент, обусловленный осевым воздействием и поперечным отклонением следует рассматривать в рамках анализа гибкости или пластичности.

Осевые ограничения могут привести к возникновению значительной осевой силы в элементе при поперечных воздействиях, которые частично связаны с мембранным воздействием. Необходимо учитывать результаты этих воздействий на окружающую конструкцию.

Балки, подвергающиеся воздействию пожара, могут потерять устойчивость к изгибу и сдвигу с последующим смещением и прогрессирующим деформированием. Такой эффект необходимо учесть с целью обеспечения значительно большей устойчивости проектируемых соединений к мембранному поведению. Соединения должны соответствовать предельным пластическим свойствам балки при воздействии пожаров, а также осевому сжатию или растяжению.

При расчете воздействий взрыва необходимо учитывать локальную и общую устойчивость балок. С точки зрения поперечного выпучивания важно обеспечить сжатие полок балок в поперечном направлении. Восходящее воздействие на кровельную балку может привести к сжатию нормально незащемленной нижней полки балки.

А.3.5 Гибкие элементы конструкций

Во время пожара возможно преждевременное коробление гибких элементов конструкций. Для таких элементов конструкций необходимо обеспечить подходящие боковое и крутильное ограничения.

Примечание — Элементы и части конструкций классифицируют в качестве «гибких» с использованием коэффициента гибкости или отношения предела текучести к модулю Юнга.

А.3.6 Опоры трубопроводов и резервуаров

Опоры трубопроводов и резервуаров могут подвергаться сильным поперечным воздействиям, обусловленным взрывными волнами и/или тепловыми эффектами.

Целостность опор резервуаров должна сохраняться как минимум до завершения технологической аварийной продувки. Опоры резервуаров, содержащих огнеопасные жидкости, должны оставаться неповрежденными в течение времени, достаточного для эвакуации с МНГС.

Продольные балки, к которым прикрепляют оборудование, могут характеризоваться значительно отличающимися периодами собственных колебаний по сравнению с прилегающей конструкцией. Их динамический отклик необходимо оценивать отдельно.

А.4 Удары падающих и качающихся предметов (см. 8.12.8)

В общем случае процедура проектирования с учетом ударов падающих и качающихся предметов состоит из следующих этапов:

- определение сценариев возможного падения и раскачивания предметов с учетом их габаритов, массы и скорости;
- выявление наиболее активно разрушающихся механизмов, которые могут стать причиной раскачивания или падения предметов (например, общее разрушение конструкции, локальный удар по трубопроводу высокого давления и т. д.);
- определение достаточности энергии предмета с точки зрения инициирования механизма разрушения при отсутствии ограждающих конструкций;
- при наличии ограждающих конструкций выполняют проверку их способности остановить или затормозить предмет, чтобы избежать инициирования механизма разрушения, кроме того, выполняется проверка механизмов перераспределения нагрузки между конструкцией ограждения и основной конструкцией ВС;
- проверка устойчивости поврежденной конструкции к функциональным и внешним воздействиям с периодом повторяемости, который необходим для эффективного ремонта: необходимо использовать событие окружающей среды с 10-летним периодом повторяемости.

А.5 Вибрации (см. 8.12.10)

Сильные вибрации проявляются в виде тряски конструкций ВС сооружения. При этом возможны значительные общие перемещения ВС из стороны в сторону. Результатом таких перемещений является ударное повреждение. Например, ВС при взрыве газа может испытывать большой дисбаланс, обусловленный односторонним отводом газа. В результате возникают большие горизонтальные отклонения и ускорения локальных конструкций, в том числе жилых отсеков и вертолетной ПП. Даже при отсутствии значительного общего воздействия возможно возникновение сильных высокочастотных вибраций ВС.

Во время землетрясения стационарные морские сооружения могут смещаться в вертикальном и горизонтальном направлениях. Первоначально морское сооружение находится в состоянии покоя (если пренебречь смещениями, обусловленными воздействием волн и нормальными операциями) до тех пор, пока перемещение грунта не начинает сотрясать основание опорных колонн. Перемещение грунта может продолжаться не менее 20 с. Землетрясения оказывают незначительное влияние на плавучие сооружения, поэтому в общем случае их воздействием можно пренебречь, однако вертикальные ускорения грунта способны оказывать сильное влияние на сооружения с натяжными опорами, а также на плавучие сооружения для хранения и отгрузки добытой нефти при использовании системы крепления на натяжных связях.

При взрыве газа на ВС или при столкновении с судном ускорение или удар могут оказаться более значительными, а продолжительность приложенного воздействия будет короче. Импульс давления взрыва обычно оказывает воздействие длительностью не более 1 с, однако сооружение может продолжать вибрировать еще некоторое время после инициирующего события.

В состав систем, критически важных для обеспечения безопасности, могут входить вспомогательные дизельные генераторы, аварийные пожарные насосы, кольцевые магистральные трубопроводы пожарного водоснабжения, электрические панели управлении и кабельные соединения. Виброгасители оборудования обладают ограниченной способностью сопротивляться сильным вибрационным воздействиям, которые могут послужить причиной больших поперечных смещений.

А.6 Проектирование конструкций из нецилиндрических элементов (см. 9.3)

А.6.1 Общие сведения

К числу строительных норм и правил, подходящих для проектирования конструкций ВС из нецилиндрических элементов, относят: ***СП 16.13330.2011, Правила РМРС [1],*** ANSI/AISC 360-05, CSA-S16-09, BS EN 1993-1-1 и NS 3472.

А.6.2 Проектирование конструкций из двутавровых профилей

К числу строительных норм и правил, подходящих для проектирования конструкций ВС из двутавровых профилей, относят: ***СП 16.13330.2011, Правила РМРС [1],*** ANSI/AISC 360-05, CSA-S16-09, BS EN 1993-1-1, и API Bulletin 2V.

А.6.3 Проектирование конструкций из коробчатых профилей

К числу строительных норм и правил, подходящих для проектирования конструкций ВС из коробчатых профилей, относят: ***СП 16.13330.2011, Правила РМРС [1],*** ANSI/AISC 360-05, CSA-S16-09, BS EN 1993-1-1, и API Bulletin 2V.

А.6.4 Проектирование конструкций с армированными элементами жесткости

К числу строительных норм и правил, подходящих для проектирования жестких листовых обшивок морских конструкций ВС, относят: ***СП 16.13330.2011, Правила РМРС [1],*** CSA-S16-09, BS EN 1993-1-1, API Bulletin 2V.

А.6.5 Проектирование обшивки

К числу строительных норм и правил, подходящих для расчета сдвиговых сил обшивок конструкций ВС, относят: ***СП 16.13330.2011, Правила РМРС [1],*** BS EN 1993-1-1.

А.7 Опорные конструкции грузоподъемных кранов (см.10.6)

У опорных конструкций грузоподъемных кранов встречаются два основных типа узлов сопряжения:

- грузоподъемный кран обладает опорно-поворотным кольцом;
- грузоподъемный кран поворачивается вокруг грузовой полумачты, основание которой прикреплено болтами к фланцу опорной конструкции крана.

При отсутствии поставки готовых узлов сопряжения от производителя крана рекомендуется руководствоваться следующим. Фланец опорной конструкции необходимо обработать на станке для достижения плоскостности и чистоты поверхности, сопоставимой с типом поворотного кольца или основания используемой грузовой полумачты. Производитель грузоподъемного крана должен предоставить допуски вместе со значениями жесткости, необходимой для поддержания поворотного кольца крана или фланца грузовой полумачты. Информация, полученная от производителя, позволит вычислить подходящий диаметр поворотного кольца и толщину верхнего фланца. В результате этого можно вычислить наружный диаметр трубы опорной конструкции после определения допусков зазора для механизма натяжения монтажного болта или гаечного ключа с регулируемым вращающим моментом.

Любую опорную конструкцию грузоподъемного крана, который имеет высоту над узлом закрепления на ВС более чем 10 диаметров трубы опорной конструкции, следует проверять на соответствие динамическим характеристикам крана. В случае необходимости эти характеристики следует учитывать при вычислении усталостного срока эксплуатации опорной конструкции крана.

Верхний фланец опорной конструкции грузоподъемного крана не следует делать горячекатаным или штампованным. Его необходимо механически обработать на станке до нужного профиля. Фасонный фланец следует присоединить к стенке опорной конструкции посредством стыкового шва с полным проваром. Фланец должен быть расположен перпендикулярно и концентрично с осью опорной конструкции. Материал фланца должен быть совместимым с материалом опорной конструкции и должен иметь сопроводительную документацию от поставщика фланца.

После изготовления опорной конструкции грузоподъемного крана верхнюю поверхность фланца следует обработать на станке с допусками и значениями, установленными поставщиком крана. Отверстия с гарантированным зазором под болты следует сверлить по шаблону, который поставляет производитель крана. Никакую дополнительную сварку не следует проводить вокруг площади фланца после машинной обработки, так как любая тяжелая сварочная работа может подвергнуть риску целостность и плоскостность обработанной на станке поверхности. При подгонке верхних фланцев оснований обработанную поверхность следует удерживать под углом 90° к центральной оси трубчатой опоры. Значения углового допуска следует определять для диаметра используемого основания и типа станка, использованного в процессе снятия верхнего слоя металла.

Для обеспечения целостности опорной конструкции грузоподъемного крана необходимо проанализировать следующие три состояния:

а) статическое состояние

Такое состояние определяют опрокидывающим моментом и прямым воздействием с учетом только статических значений без динамических коэффициентов или учитываемых воздействий ветра. Установившееся или статическое состояние необходимо использовать для вычисления усталостного срока нависающего выступа фланца основания. Допускается использование метода конечных элементов с целью вычисления уровней концентраций механических напряжений при любых изменениях сечения профиля фланца и области сопряжения «фланец/сварной шов». Необходимо учесть вращение на 360° вокруг фланца с полным изменением направления воздействия на обратное, которое возникает на верхнем и нижнем торцах фланца во время каждого поворота. Производитель грузоподъемного крана должен предоставить значения спектрального коэффициента для воздействий. Такой коэффициент обычно зависит от спецификаций, регламентирующих проектирование подъемного крана. Число ожидаемых поворотов крана следует определять на основе ожидаемой периодичности эксплуатации и планируемого срока службы крана. Для установившихся состояний с подходящим спектральным коэффициентом воздействия анализируют минимальный усталостный срок в 1 млн циклов;

б) динамическое состояние

Динамическое состояние определяют статическими значениями опрокидывающего момента и осевого воздействия со стороны гака крана, умноженного на динамический коэффициент, который определяют на основе жесткости крана, превалирующего состояния моря, скорости подъема груза и гравитационной постоянной. Данное состояние должно учитывать воздействие ветровой нагрузки на конструкцию крана в наиболее неблагоприятном направлении во время его работы. Влияние любого демпфирующего устройства, установленного на кран, не сле-

дует учитывать в качестве нагрузки, поскольку такое устройство может отказать во время эксплуатации и, следовательно, после демонтажа не будет оказывать никакого влияния на динамические воздействия, передаваемые в основание крана.

в) состояние обеспечения живучести

Следует рассмотреть два случая:

1) разрушение грузоподъемного крана

В этом случае главные элементы конструкции крана разрушаются от приложенных общих воздействий без активизации всех устройств демпфирования перегрузки. Кран следует проектировать с таким расчетом, чтобы последний разрушаемый элемент находился ниже машинного отделения крана, примыкающего к опорно-поворотному кольцу или грузовой полумачте. В данных экстремальных условиях опорная конструкция грузоподъемного крана не должна разрушаться или получать локальное повреждение боковой стенки или фланца. В конструкции опорной конструкции грузоподъемного крана допускается смещение центральной оси крана вследствие деформаций,

2) штормовая нагрузка

Кран и его опорную конструкцию подвергают воздействиям экстремальных погодных условий, например ветровой нагрузке, создаваемой ураганами, тайфунами или циклонами. В этих условиях окружающей среды кран обычно прекращает работу, а его стрелу закрепляют на опоре.

А.8 Изготовление верхних строений (см. 12.1)

При рассмотрении вопросов организации строительства ВС необходимо учитывать следующие аспекты:

а) планирование своевременной доставки и монтажа основных узлов оборудования и минимизация последствий потенциального запаздывания доставки;

б) расчет сочленений и соединений, подходящих для наиболее эффективного метода строительства;

в) планирование, позволяющее предусмотреть влияние проектной информации, зависимой от закупочного цикла оборудования;

г) проектирование, изготовление и пусконаладка ВС на берегу с целью минимизации работ, выполняемых в море;

д) планирование покраски и нанесения противопожарных покрытий с целью минимизации влияния на монтаж и ввод в эксплуатацию оборудования;

е) учет потенциальных препятствий со стороны оборудования и труб при перемещении и транспортировке ВС во время и после строительства;

ж) учет обратного направления нормальных траекторий нагружения во время выгрузки, транспортировки и монтажа, а также их влияния на перегородки, трубопроводы и оборудование.

А.9 Сварка (см. 12.2)

Объемы сварочных работ оказывают значительное влияние на стоимость конструкций ВС, при этом подводимое тепло сварных швов чрезмерного размера может увеличивать деформации. Конструкции ВС обладают большим числом малогабаритных элементов конструкций, которые изготовляют в основном с учетом удобства размеров и отделки, при этом механические напряжения анализируют в последнюю очередь. Тщательный анализ минимальной допустимости размеров сварных швов позволяет значительно сократить расходы без ухудшения безопасности или эксплуатационной пригодности.

А.10 Маршруты перемещения персонала и настилы (см. 15.2.2)

С практической точки зрения необходимо определить главные и вторичные маршруты эвакуации и подробно проанализировать принятые решения с учетом техники безопасности. Такие маршруты подлежат тщательной инспекции, чтобы исключить любую преграду эвакуации.

А.11 Повторное использование верхних строений (см. 17)

В настоящем разделе приложения дано описание минимально рекомендованного объема проверки элементов ВС. Возможно изменение процедуры проверки с учетом конструкционной оценки для повторного использования, а также результатов предыдущего эксплуатационного контроля.

Ультразвуковую или магнитопорошковую дефектоскопию следует выполнить для:

- 10 % узлов соединений элементов ферменных конструкций;
- 10 % элементов поясов ферм;
- 10 % элементов составной двутавровой балки со сплошной стенкой;
- 25 % узлов соединений несущих опорных колонн ВС;
- 100 % узлов соединений опорной конструкции грузоподъемного крана;
- 100 % узлов соединений консолей ВС;
- 100 % узлов соединений оборудования, обеспечивающего безопасность, с палубой ВС.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 51901.1—2002	NEQ	IEC 60300-3-9:1995 «Управление надежностью. Часть 3. Руководство к применению. Раздел 9. Анализ риска технологических систем»
ГОСТ Р 54483—2011	MOD	ISO 19900:2002 «Нефтяная и газовая промышленность. Общие требования к морским сооружениям»
ГОСТ Р 55311—2012	—	*
ГОСТ Р 57123—2016	MOD	ISO 19901-2:2004 «Промышленность нефтяная и газовая. Специальные требования, предъявляемые к морским платформам. Часть 2. Методы и критерии проектирования с учетом сейсмических условий»
ГОСТ Р 57148—2016	MOD	ISO 19901-1:2015 «Промышленность нефтяная и газовая. Специальные требования, предъявляемые к морским платформам. Часть 1. Проектирование и эксплуатация с учетом гидрометеорологических условий»
ГОСТ Р ИСО 17776—2012	IDT	ISO 17776:2000 «Нефтяная и газовая промышленность. Морские добычные установки. Руководящие указания по выбору методов и средств идентификации источника опасности и оценки риска»
ГОСТ Р 21.1101—2013	—	*

* Соответствующий международный стандарт отсутствует.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты;
- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Библиография

[1] Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. РМРС — СПб, 2014, НД-2-020201-013

[2] Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтедобывающих комплексов. РМРС — СПб, 2011, НД-2-020201-011

[3] Правила по нефтегазовому оборудованию морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов, плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. РМРС — СПб, 2009, НД-2-090601-001

[4] ИСО 19902:2007 (ISO 19902:2007) Нефтяная и газовая промышленность. Стационарные стальные морские сооружения (Petroleum and natural gas industries — Fixed steel offshore structures)

[5] ИСО 19901-6:2009 (ISO 19901-6:2009) Промышленность нефтяная и газовая. Специальные требования, предъявляемые к морским платформам. Часть 6. Морские операции (Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 6: Marine operations)

[6] Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144)

[7] Руководство по безопасности «Методика анализа риска аварий на опасных производственных объектах морского нефтегазового комплекса» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 сентября 2015 г. № 364)

[8] ОАТ ГА-90 Общие авиационные требования к средствам обеспечения вертолетов на судах и приподнятых над водой платформах

[9] ИКАО Приложение 14 к конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы. Том II. Вертодромы (Международная организация гражданской авиации)

[10] CAA CAP 437 Standards for offshore helicopter landing areas (Стандарты для морских посадочных площадок вертолетов)

[11] Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

[12] Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности морских объектов нефтегазового комплекса» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 18 марта 2014 г. № 105)

[13] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

УДК 622.242.4:006.354 ОКС 75.180.10

Ключевые слова: сооружения нефтегазопромысловые морские, верхние строения, проектирование, мониторинг технического состояния

БЗ 8—2017/71

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Ю. Митрофанова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 28.07.2017. Подписано в печать 08.08.2017. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 9,30. Уч.-изд. л. 8,42. Тираж 30 экз. Зак. 1393.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru