ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71120— 2023

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Платформы морские стационарные стальные. Обеспечение механической безопасности. Общие требования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Газпром морские проекты» (ООО «Газпром морские проекты») и Акционерным обществом «Центральное конструкторское бюро «Коралл» (АО «ЦКБ «Коралл»)

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 ноября 2023 г. № 1485-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 4
5 Общие положения 4
6 Принципы градации морских нефтегазопромысловых сооружений по условиям работы несущих конструкций 5
7 Принципы нормирования механической безопасности 7
8 Принципы определения нагрузок 9
9 Формирование сочетаний нагрузок 18
10 Материалы несущих конструкций 19
11 Выполнение расчетов прочности 22
Библиография 39

Введение

Настоящий стандарт разработан в дополнение к комплексу действующих национальных стандартов в области морской нефтегазодобычи, устанавливающих требования к проектированию, строительству и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений.

Целью настоящего стандарта является установление требований к механической безопасности при проектировании морских стационарных стальных платформ, предназначенных для эксплуатации во внутренних водах, территориальном море и на континентальном шельфе Российской Федерации, а также в российском секторе Каспийского моря, на участках недр, расположенных в Черном море, на основе обобщения, унификации и дополнения существующих отечественных и зарубежных норм проектирования.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Платформы морские стационарные стальные. Обеспечение механической безопасности. Общие требования

Petroleum and natural gas industry. Offshore oil and gas structures. Offshore fixed steel platforms. Structural integrity provision. General requirements

Дата введения — 2024—02—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к обеспечению механической безопасности при проектировании корпусных конструкций морских стальных стационарных платформ (в том числе ледостойкого типа), расположенных во внутренних водах, территориальном море, на континентальном шельфе Российской Федерации, а также в российском секторе Каспийского моря и на участках недр, расположенных в Черном море, и предназначенных для работ, связанных с освоением месторождений углеводородов или другой деятельности, и удерживаемых на грунте гравитационным способом, с помощью свай или комбинированным способом (далее — платформы).

1.2 Положения настоящего стандарта не распространяются на проектирование морских плавучих платформ (полупогружных, самоподъемных, буровых судов и других видов плавучих буровых установок), конструкций буровых платформ, выполненных из бетона и железобетона, а также искусственных островов и систем подводной добычи.

1.3 Настоящий стандарт подготовлен в обеспечение соблюдения требований [1].

1.4 При постройке морской стационарной платформы под техническим наблюдением Российского морского регистра судоходства (РМРС) дополнительно следует выполнять требования [2] и [3].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 535 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия

ГОСТ 5521 Прокат стальной для судостроения. Технические условия

ГОСТ 8731 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования

ГОСТ 10705 Трубы стальные электросварные. Технические условия

ГОСТ 14637 (ИСО 4995—78) Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия

ГОСТ 27751 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 27772 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия

ГОСТ 28870 Сталь. Методы испытания на растяжение толстолистового проката в направлении толщины

ГОСТ Р 22.1.12 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования

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

Издание официальное

ГОСТ Р 52927 Прокат для судостроения из стали нормальной, повышенной и высокой прочности. Технические условия

ГОСТ Р 54418.2 (МЭК 61400-2:2006) Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Часть 2. Технические требования к малым ветроэнергетическим установкам

ГОСТ Р 54483—2021 (ИСО 19900:2013) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Общие требования

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

ГОСТ Р 56353—2022 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов

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

ГОСТ Р 58771 Менеджмент риска. Технологии оценки риска

ГОСТ Р 59995—2022 (ИСО 19901-4:2016) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Геотехнические и расчетные аспекты проектирования фундаментов

СП 11-103 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства

СП 11-114 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция»

СП 38.13330.2018 «СНиП 2.06.04-82 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»

СП 58.13330.2019 «СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения»

СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология»

СП 358.1325800 Сооружения гидротехнические. Правила проектирования и строительства в сейсмических районах

СП 369.1325800 Платформы морские стационарные. Правила проектирования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный 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. Сведения о действии сводов правил можно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 27751, ГОСТ Р 55311, ГОСТ Р 54483, ГОСТ Р 57555, ГОСТ Р 27.102, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **динамическая нагрузка:** Нагрузка, характеризующаяся быстрым изменением во времени ее значения, направления или точки приложения и вызывающая в элементах конструкции значительные силы инерции.

Примечание — При определении свойств грунтов основания под динамической нагрузкой понимают нагрузку, изменяющуюся во времени быстрее, чем рассеиваются вызванные ею в грунте напряжения (см. ГОСТ Р 56353—2022 (пункт 3.5)).

3.2

конечный элемент: Элемент, имеющий конечные размеры, на которые разбивается область, в которой ищется численное решение поставленной задачи математического моделирования.

[ГОСТ Р 57188—2016, статья 2.3.12]

3.3 **корпус морской стационарной платформы:** Совокупность всех корпусных конструкций морской стационарной платформы.

3.4 **корпусные конструкции:** Элементы сооружения, обеспечивающие его механическую безопасность.

3.5

механическая безопасность: Состояние строительных конструкций и основания здания или сооружения, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений вследствие разрушения или потери устойчивости здания, сооружения или их части.

[[1], статья 2, пункт 8]

3.6 **неремонтопригодная корпусная конструкция:** Корпусная конструкция, восстановление или замена которой при нарушении ее несущей способности технически неосуществимы без вывода сооружения из эксплуатации.

Примечание — Срок службы неремонтопригодной корпусной конструкции, как правило, является равным сроку службы сооружения.

3.7 **нормальная эксплуатация:** Эксплуатация строительного объекта в соответствии с условиями, предусмотренными в строительных нормах или задании на проектирование, включая соответствующее техническое обслуживание.

3.8

опорная часть: Конструкция, опирающаяся на морское дно, предназначенная для установки ВС и обеспечивающая устойчивость МНГС против внешних воздействий.

[ГОСТ Р 57555—2017, пункт 3.14]

3.9

опорный блок: Несущая пространственная конструкция опорной части морской платформы.

[Адаптировано из ГОСТ Р 55311—2012, статья 14]

3.10 **опорный блок водоизмещающего типа:** Опорный блок, конструктивно состоящий из наружной обшивки (бортов, днища, палубы) с подкрепляющим набором, образующей водонепроницаемый объем, который может быть разделен внутренними перекрытиями (платформ, переборок) на отдельные отсеки.

3.11 **опорный блок ферменного типа;** *джекет*: Опорный блок, конструкции которого представляют собой совокупность стоек, балок и раскосов, связанных между собой в пространственную ферменную конструкцию и обеспечивающих его прочность и геометрическую неизменяемость.

3.12 **основной набор корпуса:** Совокупность балок и/или ребер жесткости, являющихся опорным контуром для пластин настилов и обшивок корпуса и передающих реактивные воздействия этих пластин на более жесткие связи корпуса.

3.13 **перекрытие:** Часть корпусной конструкции, включающая в себя участок обшивки или настила корпуса морской стационарной платформы, подкрепленный системой пересекающихся балок набора и ограниченный опорным контуром, на который опирается набор.

3.14 **присоединенный поясок:** Участок листов настила или обшивки, примыкающий к балке набора корпуса и вовлекаемый вместе с ней в работу на изгиб.

3.15 **пролетное верхнее строение:** Верхнее строение морской стационарной платформы, опирающееся на несколько опорных блоков.

3.16 **рамный набор:** Совокупность балок, образующих силовой каркас корпуса морской стационарной платформы и являющихся опорой для основного набора.

3.17

резервирование: Метод обеспечения надежности, состоящий в применении дополнительных средств и возможностей с целью сохранения работоспособности объекта при отказе одного или нескольких его элементов или нарушении связей между ними.

[[4], пункт 1.1]

3.18 **шпация:** Расстояние между балками основного поперечного или продольного набора корпуса морской стационарной платформы.

3.19 **юбка:** Вертикальные или наклонные стенки или конструкции, закрепленные на днище опорного блока платформы и погружаемые в грунт с целью увеличения устойчивости платформы на действие сдвигающих нагрузок, а также для повышения защищенности грунта основания под днищем платформы от размывов.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

МКЭ — метод конечных элементов;

МНГС — морское нефтегазопромысловое сооружение;

МСП — морская стационарная платформа;

ВС — верхнее строение;

ОЧ — опорная часть МСП.

5 Общие положения

5.1 Основные требования к обеспечению механической безопасности при проектировании МСП:

- обеспечение надежности сооружения при действии наиболее неблагоприятных основных и особых сочетаний нагрузок и воздействий. При этом необходимо рассматривать все этапы строительства и эксплуатации платформ;

- проектирование должно осуществляться с учетом требований безопасной, бесперебойной и экологически безвредной эксплуатации в течение всего срока службы сооружения. Расчетный срок службы платформ определяют заданием на проектирование;

- при проведении морских операций по транспортировке и установке МСП и их частей должны выполняться требования по обеспечению механической безопасности, указанные в правилах классификационного общества и/или морского гарантийного сюрвейера, под надзором которого выполняют данные операции.

5.2 Механическую безопасность МСП достигают за счет:

- использования при проектировании достоверных актуальных данных инженерных изысканий;

- использования долговечных, прочных и износостойких (коррозия, абразивный износ) конструкционных материалов, устойчивых к повышенной агрессивности морской среды;

- использования метода резервирования несущей способности несущих элементов сооружения, что обеспечивает перераспределение нагрузок между конструкциями при повреждении некоторых из них (наиболее полно реализуется в традиционных плоских судовых корпусных конструкциях благодаря их многократной статической неопределимости);

- расчетного обоснования несущих конструкций МСП в целом и их отдельных конструктивных элементов и узлов, в том числе и с использованием МКЭ;

- проектирования конструкций таким образом, чтобы они были доступными для наблюдения, оценки технического состояния, выполнения профилактических и ремонтных работ;

- проектирования структурированной системы мониторинга безопасности МСП (включая проект натурных наблюдений) согласно ГОСТ Р 22.1.12, предназначенной для осуществления контроля технического состояния строительных конструкций и, при необходимости, грунтового основания с целью предупреждения возможных отказов и аварийных ситуаций, которые могут привести к возникновению чрезвычайной ситуации.

5.3 Положения настоящего стандарта следует применять для оценки уровня риска возможных аварий и формирования сценариев аварийных ситуаций МСП в соответствии с ГОСТ Р 58771, в том числе, при декларировании безопасности опасных производственных объектов, согласно [5] и при разработке планов локализации и ликвидации аварий [6].

6 Принципы градации морских нефтегазопромысловых сооружений по условиям работы несущих конструкций

6.1 Общие подходы к классификации морских стационарных платформ

6.1.1 Положения настоящего стандарта распространяются на следующие типы стальных МСП в зависимости от способа обеспечения устойчивости на грунтовом основании:

- гравитационные;
- свайные;
- комбинированные (свайно-гравитационные).

6.1.2 В зависимости от условий эксплуатации МСП подразделяют на два класса — ледостойкие и неледостойкие.

6.1.3 МСП различают по форме и конструкции опорной части и верхнего строения.

6.1.3.1 Опорные части МСП в большинстве случаев выполняют в виде:

- одного или нескольких опорных блоков ферменного или водоизмещающего типов;
- нижнего понтона, контактирующего с грунтовым основанием, и одной или нескольких опорных колонн для размещения верхнего строения.

6.1.3.2 Верхние строения платформ, как правило, выполняют:

- в виде пространственной ярусной ферменной конструкции;
- в модульном исполнении, при котором отдельные функциональные комплексы платформы выполняют в виде конструктивно законченных блок-модулей, поочередно устанавливаемых на опорную часть;
- в виде комбинации вышеперечисленных архитектурно-конструктивных типов, где отдельные функциональные комплексы платформы в виде конструктивно законченных блок-модулей устанавливают на несущий ферменный каркас.

6.2 Положения по учету взаимовлияния верхнего строения, опорной части и грунтового основания при оценке механической безопасности сооружения

6.2.1 При проектировании МСП, а также при проведении расчетов, обосновывающих механическую безопасность сооружения, должно учитываться взаимное влияние отдельных частей сооружения (верхнего строения, опорной части, фундамента) и грунтового основания.

6.2.2 Учет взаимовлияния подразумевает использование при проектировании расчетных схем, отражающих реальную работу сооружения при воздействии на него всех расчетных нагрузок. Принятая расчетная схема сооружения, с учетом применяемых расчетных методик и допущений, должна отражать передачу и перераспределение нагрузок и деформаций между отдельными частями платформы, ее фундаментом и грунтовым основанием.

6.2.3 Под расчетной схемой понимают представление конструкций сооружения в виде аналитических или численных зависимостей, математических моделей, либо их совокупности, позволяющее оценить реакцию сооружения на расчетные воздействия.

6.2.4 В общем случае, при проверке прочности сооружения и его устойчивости на грунтовом основании в расчетную схему должны быть включены основные и специальные конструктивные элементы (см. 6.3) верхнего строения и опорной части (включая свайный фундамент при его наличии) сооружения для учета их реальных жесткостей, а также должно быть отражено влияние грунтового основания на фундамент сооружения.

При оценке механической безопасности сооружения на действие нагрузок, способных вызвать динамический отклик, расчетная схема должна учитывать реальные инерционные характеристики сооружения и его отдельных частей.

6.2.5 Если объектом проводимой расчетной оценки является часть сооружения (ВС или его опорные узлы, ОЧ, свайный фундамент и др.), то для сокращения объемов расчетов возможно выполнение расчетных схем конструкции с учетом перечисленных далее допущений:

6.2.5.1 Основные и специальные конструктивные элементы части сооружения, являющейся объектом расчетной оценки, а также частей сооружения, оказывающих непосредственное влияние на напряженно-деформированное состояние рассматриваемой части, должны быть включены в расчетную схему в объеме, достаточном для реального отражения передачи и перераспределения нагрузок и деформаций.

6.2.5.2 Части сооружения, не являющиеся объектом рассмотрения при проведении расчетной оценки и не оказывающие непосредственного влияния на напряженно-деформированное состояние рассматриваемой части, допускается учитывать в расчетной схеме в виде: реакций отсеченной части, ограничений степеней свободы, сосредоточенных масс, условных жесткостей и т. д.

6.2.6 Использование расчетных схем по 6.2.5 не должно приводить к искажению результатов расчетной оценки и должно осуществляться при строгой инженерной оценке:

- архитектурно-конструктивных особенностей проектируемого сооружения;
- цели производимой расчетной оценки;
- условий эксплуатации сооружения.

6.2.7 Рекомендации по составлению расчетных схем по 6.2.5 представлены в таблице 6.1 в зависимости от архитектурно-конструктивного типа сооружения и цели расчетной оценки.

Таблица 6.1 — Рекомендуемое исполнение расчетных схем при расчетной оценке части сооружения по 6.2.5

Цель расчетной оценки	Пункт стандарта, регламентирующий исполнение расчетной схемы части сооружения		
	ВС	ОЧ (включая сваи, при их наличии)	Грунтовое основание
МСП с опорной частью в виде нескольких опорных блоков (либо нижнего понтона с несколькими опорными колоннами) и пролетным верхним строением			
Оценка несущей способности грунтового основания	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности элементов фундамента сооружения	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности опорной части сооружения	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка устойчивости сооружения на грунте	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности узлов опирания ВС на ОЧ	6.2.5.1	6.2.5.1	6.2.5.1
Проверка прочности конструкций ВС	6.2.5.1	6.2.5.1	6.2.5.2
МСП с опорной частью в виде одного опорного блока либо нижнего понтона с одной опорной колонной			
Оценка несущей способности грунтового основания	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности элементов фундамента сооружения	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности опорной части сооружения	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка устойчивости сооружения на грунте	6.2.5.2	6.2.5.1	6.2.5.1
Оценка прочности узлов опирания ВС на ОЧ	6.2.5.1	6.2.5.2	6.2.5.2
Проверка прочности конструкций ВС	6.2.5.1	6.2.5.2	6.2.5.2

6.3 Классификация конструктивных элементов

6.3.1 Конструктивные элементы МСП следует классифицировать в зависимости от влияния возможного их повреждения на механическую безопасность сооружения.

В соответствии с этим, конструктивные элементы МСП подразделяют:

- на специальные;
- основные;
- второстепенные.

6.3.2 К специальным конструктивным элементам следует относить корпусные конструкции, неремонтопригодные в течение всего срока службы сооружения и ответственные за усталостную прочность МСП в целом.

6.3.3 К основным относят конструктивные элементы, обеспечивающие:

- механическую безопасность МСП в целом и ее отдельных модулей;

- непроницаемость конструкции, если это требуется по условиям эксплуатации;
- предотвращение крупных загрязнений окружающей среды;
- безопасность человеческой жизни и здоровья.

6.3.4 К второстепенным конструктивным элементам относят элементы, повреждение которых не оказывает существенного влияния на безопасность технического сооружения.

Конструктивные элементы, не относящиеся к специальным или основным, допускается относить к второстепенным, если иное не оговорено техническим заданием.

7 Принципы нормирования механической безопасности

7.1 Общие положения

7.1.1 При проектировании платформ или их отдельных частей необходимо использовать регламентированную ГОСТ 27751 концепцию предельных состояний, предусматривающую проведение расчетов по предельным состояниям. При этом проектирование следует выполнять с применением аналитических, численных или других методов (например, метода конечных элементов) с использованием расчетных значений нагрузок, расчетных характеристик материалов и грунтов, определяемых с помощью соответствующих коэффициентов надежности по нагрузкам, материалам и грунтам, а также по ответственности сооружения.

Примечание — Согласно СП 58.13330.2019 (пункт 8.9) морские нефтегазопромысловые гидротехнические сооружения, вне зависимости от их конструкции и условий эксплуатации, следует относить к I классу ответственности. Понижение класса ответственности МНГС не допускается.

7.1.2 МСП, их конструкции и основания следует рассчитывать по следующим группам предельных состояний в соответствии с ГОСТ Р 54483—2021 (пункт 8.1.2):

- первая группа предельных состояний (основное предельное состояние);
- вторая группа предельных состояний (предельное состояние по критерию пригодности к нормальной эксплуатации);
- особое предельное состояние;
- предельное состояние по критерию усталостной прочности[1)].

7.1.3 Основные предельные состояния (первая группа) необходимо рассматривать для исключения потери общей прочности или устойчивости системы «платформа — грунтовое основание», а также превышения прочностных или деформационных характеристик конструктивных элементов МСП, от которых зависит прочность и устойчивость платформы в целом.

7.1.4 Предельные состояния по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа) необходимо рассматривать для исключения повреждений и деформаций конструкций, которые могут повлиять на нормальную эксплуатацию и срок службы МСП, нарушить условия комфортности для персонала МСП.

7.1.5 Особые предельные состояния — состояния, возникающие при аномальных воздействиях и аварийных ситуациях. Данные предельные состояния допускают появление повреждений, нарушающих нормальную эксплуатацию МСП. При этом должна обеспечиваться общая целостность конструкций, исключающая разрушение МНГС.

Также особые сочетания нагрузок и воздействий следует рассматривать для исключения свободного дрейфа, опрокидывания и затопления МНГС.

7.1.6 Предельные состояния по критерию усталостной прочности — состояния, возникающие при действии циклических нагрузок, как правило, обусловленных воздействием льда, волн, ветра, течения и вибрацией механизмов. При этом должна обеспечиваться общая целостность конструкций, исключающая разрушение МНГС.

[1)] В соответствии с ГОСТ 27751 усталостное разрушение относится к первой группе предельных состояний. В отечественной практике как отдельное предельное состояние не рассматривается, а предусматривается выполнение поверочного расчета на выносливость и усталостную прочность.

7.2 Основные положения расчетов по предельным состояниям

7.2.1 При расчетах МСП и их отдельных частей надлежит соблюдать условие, обеспечивающее недопущение наступления предельного состояния при основных и особых сочетаниях нагрузок, и выражающееся следующей обобщенной зависимостью

$$\Phi(F_n, \gamma_{lc}, \gamma_f) \le R(\gamma_m, \gamma_n), \quad (7.1)$$

где $\Phi(F_n, \gamma_{lc}, \gamma_f)$ — эффект воздействия (усилие, напряжение, деформация) на проектируемое сооружение сочетания расчетных нагрузок F различного происхождения, в общем случае определяемых выражением

$$F = \gamma_f F_n; \quad (7.2)$$

γ_f — коэффициент надежности по нагрузке, определяемый в соответствии с 8.6;

F_n — нормативное значение нагрузки. Указания по определению нормативных значений нагрузок приведены в разделе 8;

γ_{lc} — коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый согласно положениям раздела 9;

R — расчетное значение обобщенной несущей способности, деформации или другого нормируемого параметра, определяемое в соответствии с выражением

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m \gamma_n}; \quad (7.3)$$

R_n — нормативное значение обобщенной несущей способности;

γ_m — коэффициент надежности по материалу, принимаемый в соответствии с 10.4;

γ_n — коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый равным 1,25 — при расчетах по первой группе предельных состояний, 1,00 — при расчетах по второй группе и для особых предельных состояний.

7.2.2 В зависимости от рассматриваемой расчетной ситуации и нормируемого в данной ситуации эффекта воздействия, в качестве нормативного значения обобщенной несущей способности R_n должны приниматься величины в соответствии с таблицей 7.1.

Таблица 7.1 — Характеристики, принимаемые в качестве нормируемого эффекта воздействия, и соответствующие им величины несущей способности

Группа предельных состояний	Пример расчетной ситуации	Нормируемый эффект воздействия $\Phi(F_n, \gamma_{lc}, \gamma_f)$	Нормативная несущая способность R_n
Основное предельное состояние	Оценка общей и местной прочности на основные сочетания нагрузок в соответствии с разделом 9	Эквивалентные напряжения в конструкции в рассматриваемой точке σ_{eqv} [1)]	Предел текучести стали [2)] R_{eH}
	Проверка устойчивости элементов конструкции [3)]	Компоненты расчетных напряжений в конструкции в рассматриваемой точке σ_x, σ_y, τ_{xy}	Критические нормальные и касательные напряжения σ_{cr}, τ_{cr}
	Проверка местной прочности конструкций в районе ледового пояса на действие локальных ледовых нагрузок [4)]	Локальное давление p; локальная нагрузка Q	Предельные значения нагрузок: - предельное давление p_{ult} - предельная нагрузка Q_{ult}
	Проверка несущей способности грунтового основания [5)]	Расчетное значение обобщенной нагрузки на грунтовое основание Q	Предельная несущая способность грунтового основания Q_d
По критерию пригодности к нормальной эксплуатации	Оценка перемещений и деформаций конструкций	Расчетные значения перемещений или деформаций s	Допускаемые величины деформаций и перемещений, принимаемые исходя из эксплуатационных и технологических

Окончание таблицы 7.1

Группа предельных состояний	Пример расчетной ситуации	Нормируемый эффект воздействия $\Phi(F_n, \gamma_{lc}, \gamma_f)$	Нормативная несущая способность R_n
По критерию пригодности к нормальной эксплуатации	Проверка местной прочности пластин на действие поперечной локальной нагрузки (гидростатическое давление, нагрузки от колесных транспортных средств)	Изгибные напряжения на опорном контуре пластины σ_{pl}	требований, в том числе из условий обеспечения нормальной эксплуатации устанавливаемого оборудования, или устанавливаемые в задании на проектирование s_{ult} Минимальная величина временного сопротивления стали: $(R_m)_{min}$ [6]
Особое	Оценка общей и местной прочности на особые сочетания нагрузок в соответствии с 9.5	Эквивалентные напряжения в конструкции в рассматриваемой точке σ_{eqv} [1]	Минимальная величина временного сопротивления стали $(R_m)_{min}$ [6]
По критерию усталостной прочности	Расчеты на предельные состояния по критерию усталостной прочности [7]	Число циклов нагружения при i-м уровне напряжений n_i	Предельное допускаемое количество циклов нагружения до появления трещины N

[1] Эквивалентные напряжения при плоском напряженном состоянии определяют в соответствии с формулой

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau^2},$$

где σ_x, σ_y и τ — компоненты напряжений в конструкции в рассматриваемой точке.

Эквивалентные напряжения для объемных элементов определяют в соответствии с формулой

$$\sigma_{eqv} = \sqrt{0{,}5\left[\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \left(\sigma_y - \sigma_z\right)^2 + \left(\sigma_z - \sigma_x\right)^2\right] + 3\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2\right)},$$

где σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{yz} и τ_{xz} — компоненты напряжений в конструкции в рассматриваемой точке.

[2] Предел текучести стали определяют в соответствии со стандартами на сталь, например ГОСТ Р 52927, ГОСТ 27772.

[3] Указания по проверке устойчивости отдельных конструктивных элементов корпуса МСП представлены в 11.4.

[4] Методика оценки предельной прочности сооружения на действие локальных ледовых нагрузок представлена в 11.3.

[5] Методика расчета несущей способности грунтового основания для свайных фундаментов МСП представлена в 11.5.

[6] При расчете конструктивных элементов с использованием в качестве нормативной несущей способности величины временного сопротивления стали, расчетное значение несущей способности R должно определяться с учетом дополнительного коэффициента надежности γ_u = 1,3

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m \gamma_n \gamma_u}.$$

[7] Основные положения по расчету конструкций по критерию усталостной прочности приведены в 11.6.

8 Принципы определения нагрузок

8.1 Общие положения

8.1.1 Нагрузки и воздействия на МСП, подлежащие учету при проектировании, подразделяют на постоянные, временные и особые.

8.1.2 Расчетное значение нагрузки определяют умножением нормативного значения нагрузки на соответствующие коэффициенты надежности по нагрузке γ_f. Значения коэффициента γ_f принимают в соответствии с 8.6.

8.2 Постоянные нагрузки

8.2.1 К постоянным нагрузкам на МСП относят:

- собственный вес сооружения, включая вес изоляции, окраски и покрытий;
- вес постоянного функционального оборудования;
- гидростатическое давление;
- нагрузки, обусловленные давлением грунта;
- вес балласта.

8.2.2 Нормативное значение нагрузок от собственного веса конструкций следует определять по геометрическим параметрам конструкции и удельному весу материалов.

8.2.3 Расчет гидростатического давления должен основываться на вероятных диапазонах высоты поверхности воды и ее плотности.

8.2.4 На стадии разработки проектной документации нормативное значение веса оборудования и систем следует определять с учетом данных о прототипах и имеющегося опыта проектирования.

8.2.5 Нормативное значение нагрузок от грунтов следует принимать на основании данных об их удельном весе с учетом влажности в условиях возведения и эксплуатации проектируемого сооружения.

8.3 Временные нагрузки

8.3.1 Временные нагрузки, в зависимости от продолжительности их действия, подразделяют на длительные и кратковременные.

8.3.2 К временным длительным нагрузкам на МСП следует относить:

- собственный вес временных конструкций и оборудования;
- нагрузки от хранящихся запасов, добытого продукта, отходов;
- нагрузки от складируемых материалов и стеллажного оборудования в складских помещениях;
- нагрузки от буровой вышки (в том числе возникающие в процессе ее эксплуатации), а также нагрузки от стационарных грузоподъемных средств с грузом;
- перепады гидростатического давления в отсеках опорной части платформы.

8.3.3 К кратковременным следует относить:

- нагрузки от перегрузочных и транспортных средств;
- нагрузки от судов (вес, навал, швартовные и ударные);
- монтажные нагрузки, возникающие при изготовлении платформ и их частей;
- нагрузки, возникающие при проверке герметичности отсеков и цистерн (испытательные нагрузки);
- давление растворов при цементации;
- нагрузки от стоянки, посадки и взлета вертолета;
- нагрузки от воздействия окружающей среды (снеговые, ветровые, волновые, ледовые и нагрузки от обледенения).

8.3.4 Перекрытия палуб и платформ МСП должны быть спроектированы таким образом, чтобы была обеспечена их механическая безопасность при действии нагрузок от находящихся на них людей, оборудования, систем, складируемых материалов и изделий.

Нормативные величины нагрузок устанавливают на основании технологических решений с учетом назначения рассматриваемого помещения, удельного веса складируемых материалов и изделий, их возможного размещения в помещении. При этом прочность перекрытия должна быть обеспечена при действии эквивалентной равномерно-распределенной нагрузки, нормативная величина которой должна составлять не менее:

- 9,0 кПа — для рабочих палуб;
- 4,5 кПа — для палуб жилых помещений и участков открытых палуб, предназначенных для передвижения персонала и не предназначенных для складирования грузов и размещения оборудования.

Нормативная величина нагрузки для палуб складских помещений должна быть равна фактической проектной и учитывать фактические высоту укладки и плотность груза, но не менее 13,5 кПа.

8.3.5 Нагрузки на взлетно-посадочную площадку от размещения, посадки и взлета вертолета, а также коэффициенты надежности к ним, должны определяться в соответствии с положениями руководства [7].

8.3.6 Нагрузки от судов на платформу следует определять с учетом соответствующей повторяемости условий по ветру, течениям и волнам в соответствии с СП 38.13330.2018 (раздел 6).

Допускается определение нагрузок от судов на МСП при помощи специализированных программных комплексов, разработанных для математического моделирования поведения плавучих и стационарных морских сооружений под действием ветра, течения и волнения.

8.3.7 Основные требования к определению нагрузок от окружающей среды представлены в 8.5.

8.4 Особые нагрузки

8.4.1 Особыми (аномальными) нагрузками, подлежащими рассмотрению при проектировании МСП, являются:

- динамические нагрузки от взрывов;
- нагрузки и воздействия от волн для особых условий волнения;
- гидродинамическое и взвешивающее воздействия, обусловленные цунами;
- нагрузки от падения поднимаемых грузов;
- сейсмические воздействия;
- столкновения с судами;
- удар вертолета при аварийной посадке;
- нагрузки от воздействия айсберга.

8.4.2 Выбор состава особых нагрузок, подлежащих учету при проектировании МСП, а также назначение расчетных значений, принятых для проектирования особых нагрузок и воздействий, должны осуществляться проектировщиком с учетом конструктивных особенностей сооружения и условий его эксплуатации.

8.4.3 Основным параметром, характеризующим аномальность воздействия, является годовая вероятность его возникновения либо период его повторяемости, равный обратной величине годовой вероятности. Как правило, аномальными считают воздействия с вероятностью наступления порядка 10^{-3}—10^{-4} в год (период повторяемости 1000—10000 лет).

Аномальные нагрузки с вероятностью наступления меньше 10^{-4} не должны рассматриваться при проектировании, если иное не указано в техническом задании.

8.4.4 Нормативное значение сейсмической нагрузки следует определять в соответствии с СП 358.1325800.

МНГС следует рассчитывать на два уровня сейсмического воздействия: максимальное расчетное землетрясение (МРЗ) и проектное землетрясение (ПЗ). При этом повторяемость землетрясения максимальной интенсивности на площадке строительства необходимо принимать:

- для ПЗ — один раз в 500 лет;
- МРЗ — один раз в 5000 лет.

8.5 Нагрузки от окружающей среды

8.5.1 Общие положения

8.5.1.1 К нагрузкам от воздействия окружающей среды, подлежащим учету при проектировании МСП, относят:

- ветровые нагрузки;
- волновые нагрузки;
- нагрузки от течений;
- нагрузки от снега и обледенения;
- ледовые нагрузки;
- нагрузки от морского обрастания.

8.5.1.2 За расчетные значения гидрометеорологических параметров ветра, волнения и течения для расчетов по основному предельному состоянию и предельному состоянию по пригодности к нормальной эксплуатации должны приниматься значения, соответствующие обеспеченности один раз в 100 лет.

8.5.1.3 Нагрузки от воздействия окружающей среды необходимо определять для наиболее неблагоприятного направления распространения воздействий (льда, волн, течений, ветра и др.). В случае сложной (несимметричной) геометрической формы сооружения для определения наиболее неблаго-

приятного направления воздействия внешних нагрузок следует рассматривать курсовые углы воздействия нагрузок с шагом не менее 45°.

8.5.1.4 Наряду с расчетным анализом величин воздействий от окружающей среды для оценки механической безопасности сооружения могут быть использованы результаты модельных испытаний. При этом должна быть обеспечена достоверность перевода результатов модельных испытаний на натурный масштаб.

8.5.1.5 Допускается определение нагрузок от воздействия окружающей среды при помощи специализированных программных комплексов, разработанных для решения задач математического моделирования статики, динамики и гидродинамики стационарных сооружений.

8.5.2 Ветровые нагрузки

8.5.2.1 Нормативную величину нагрузки Q_w, кН, от равнодействующей сил ветра на МСП определяют по формуле

$$Q_w = 10^{-3}\rho_w (w_{10}^2/2) \sum_i S_i K_{1i} K_{2i}, \quad (8.1)$$

где ρ_w = 1,222 кг/м^3 — массовая плотность воздуха;

w_{10} — расчетная скорость ветра, м/с, на высоте 10 м от уровня тихой воды при десятиминутном осреднении, определенная по данным многолетних наблюдений как наиболее вероятная величина за 100 лет. При отсутствии данных гидрометеорологических изысканий w_{10} должна приниматься не менее 25,8 м/с;

S_i — площадь парусности i-го элемента, м^2;

K_{1i} — коэффициент, учитывающий изменение скорости ветра по высоте и определяемый по формуле

$$K_{1i} = \left(\frac{\bar{w}_{zi}}{w_{10}}\right)^2, \quad (8.2)$$

$\bar{w}_{zi}$ — средняя скорость ветра по высоте z, м/с, определяемая по формуле

$$\bar{w}_{zi} = w_{10}\left[1 + \ln\left(\frac{z}{10}\right)^{\frac{1}{7}}\left(\frac{10}{t}\right)^{\frac{1}{20}}\right], \quad (8.3)$$

z — высота над уровнем моря, м;

t — время осреднения, мин;

K_{2i} — коэффициент сопротивления формы (обтекания) i-го элемента. Значения коэффициента K_{2i} для некоторых элементов парусности приведены в таблице 8.1

Для мачт, труб, решетчатых конструкций (факельная стрела, буровая вышка) и т. п. ветровая нагрузка Q_w должна определяться с учетом коэффициента порывистости G.

В формуле (8.1) вместо расчетной скорости ветра w_{10} принимают максимальную скорость ветра W_{max}, которую определяют по формуле

$$W_{max} = G \cdot w_{10}, \quad (8.4)$$

где G — коэффициент порывистости, определяемый по формуле

$$G = 1 + \gamma\vartheta_w, \quad (8.5)$$

γ — коэффициент, зависящий от продолжительности максимального порыва и определяемый по таблице 8.2;

ϑ_w — коэффициент изменчивости скорости ветра, определяемый по формуле

$$\vartheta_w = \sigma_w / \bar{w}_{zi}, \quad (8.6)$$

σ_w — стандартное отклонение скоростей ветра, полученное из анализа статистических данных. При отсутствии статистических данных допускается использовать данные согласно ГОСТ Р 54418.2.

Таблица 8.1 — Значения коэффициента сопротивления формы

Элементы парусности	Коэффициент сопротивления формы K_{2i}
Надводная часть опорных блоков водоизмещающего типа	1,0
Надстройки, рубки, кабины и другие коробчатые элементы ВС, расположенные:	
- по периметру палубы верхнего строения;	1,2
- в центральной части открытой палубы верхнего строения	0,7
Гладкие одиночные стойки, раскосы, колонны, распорки:	
- круглого сечения;	1,2
- квадратного (прямоугольного) сечения	1,4
Изолированные конструкции из балок	1,5
Портал буровой вышки	1,2
Ферменные конструкции из трубчатых элементов (силовая конструкция буровой вышки, стрелы кранов)	1,3
Буровая вышка из трубчатых элементов при наличии свечей, зашивок площадок и трапов	1,7
Вертолетная площадка (консольная)	1,5
Леера	1,2
Малые элементы парусности	—
Тросы грузоподъемных устройств:	
- при диаметре ≤ 20 мм;	1,2
- при диаметре > 20 мм	1,0

Таблица 8.2 — Коэффициент, зависящий от продолжительности максимального порыва

Интервал осреднения скорости 10 мин	Продолжительность максимального порыва n, с						
	1	3	6	12	18	36	90
γ	2,94	2,58	2,52	2,1	1,9	1,55	1

8.5.2.2 Для элементов конструкции со сплошными стенками (например, надводная часть водоизмещающего опорного блока, зашивки верхнего строения) в качестве площади парусности S_i принимает площадь проекции элемента на вертикальную плоскость, перпендикулярную вектору скорости воздушного потока.

8.5.2.3 Если несколько элементов конструкции установлены друг за другом в направлении действии ветра, должен быть учтен эффект затемнения для подветренных элементов путем умножения площади подветренного элемента на коэффициент затемнения K_3. При этом площадь проекции наветренного элемента полностью включают в площадь парусности.

Если два одинаковых плохообтекаемых конструктивных элемента (например, рубки, надстройки или блок-модули коробчатой формы) расположены друг за другом в направлении действия ветра, коэффициент затемнения для подветренных элементов равен

$$K_3 = l/12c, \tag{8.7}$$

где l — расстояние между рассматриваемыми элементами, м;

c — наименьший размер проекции элемента на плоскость, перпендикулярную направлению ветра, м.

При неодинаковых размерах элементов часть площади подветренного элемента, не перекрываемая наветренным элементом, засчитывается полностью.

Площадь проекции ферменных конструкций определяют либо детальным расчетом площади проекций элементов наветренной грани с учетом площади незатененных элементов, находящихся внутри объема (свечи буровых труб, зашивки трапов и т. д.), либо умножением габаритной площади проекции наветренной грани на ее коэффициент заполнения, который принят равным 0,45 для буровой вышки и четырехгранных опорных колонн, 0,3 — для трехгранных опорных колонн, стрел кранов и других ферменных конструкций из трубчатых элементов.

При расчете площади парусности при встречном и боковом ветре надводной части опорных блоков ферменной конструкции в расчет должны включаться площади проекции колонн с учетом эффекта затенения.

Коэффициент затенения для колонн с круглым сечением определяют по формуле

$$K_3 = \exp\left(-0{,}002 + 1{,}033/\overline{l} - 20{,}4/\overline{l}^{\,2}\right), \quad (8.8)$$

где $\overline{l} = l/d_1$;

l — расстояние между осями колонн, м;

d_1 — диаметр колонн.

Коэффициент затенения для колонн с квадратным сечением определяют по формуле

$$K_3 = \exp\left(0{,}005 - 0{,}79/\overline{l} - 30{,}4/\overline{l}^{\,2}\right), \quad (8.9)$$

где $\overline{l} = l/b$;

b — ширина грани колонны, м.

8.5.2.4 При расчетах элементов конструкции МСП следует учитывать эффект увеличения ветровой нагрузки за счет увеличения поперечных размеров элементов в результате обледенения. Особое внимание следует уделять конструкциям, имеющим большое отношение длины к поперечному размеру (например, факельные стрелы, буровая вышка, переходные мосты и другие ферменные конструкции).

8.5.2.5 Допускается уточнение величины ветровой нагрузки на сооружение (либо его отдельные части) по результатам физического (экспериментального) моделирования — испытаний в аэродинамических трубах.

8.5.3 Нагрузки от волн и течений

8.5.3.1 Нормативные значения нагрузок от волн на сооружение должны определяться в соответствии с СП 38.13330 либо при помощи специализированных программных комплексов в соответствии с 8.5.1.5.

8.5.3.2 Нормативные значения волновых нагрузок на МСП определяют для расчетного шторма повторяемостью один раз в 100 лет и расчетной обеспеченностью высот волн равной 1 %.

8.5.3.3 Нормативные значения нагрузок от течения на МСП следует определять в соответствии с положениями СП 369.1325800 либо при помощи специализированных программных комплексов в соответствии с 8.5.1.5.

8.5.4 Нагрузки от снега и обледенения

8.5.4.1 Расчет нагрузок от снега и обледенения на МСП должен осуществляться на основании данных о толщинах снежного покрова, а также атмосферного и брызгового обледенения, полученных для района эксплуатации проектируемого МСП в результате проведения комплексных инженерно-гидрометеорологических изысканий в соответствии с СП 11-103, СП 11-114.

8.5.4.2 В случае отсутствия данных по 8.5.4.1, нормативные нагрузки от снега и обледенения должны определяться согласно 8.5.4.3—8.5.4.6.

8.5.4.3 Для платформ, эксплуатируемых севернее параллели 66°30'N, а также в Беринговом море, Охотском море и в Татарском проливе нагрузку от брызгового обледенения следует принимать равной:

- 30 кг/м^2 — на открытые участки палуб (независимо от наличия навесов) при высоте над уровнем моря до 10 м;
- 15 кг/м^2 — на открытые участки палуб (независимо от наличия навесов) при высоте над уровнем моря от 10 до 30 м, а также на элементы площади парусности при высоте над уровнем моря до 10 м;
- 7,5 кг/м^2 — на элементы площади парусности при высоте над уровнем моря от 10 до 30 м;

- при расположении конструктивного элемента на высоте более 30 м над уровнем моря брызговое обледенение на него допускается не учитывать.

8.5.4.4 Для остальных районов эксплуатации МСП на которые распространяется действие настоящего стандарта, нормы брызгового обледенения допускается принимать вдвое меньше по сравнению с установленными в 8.5.4.3.

8.5.4.5 Нагрузки от атмосферного обледенения определяют по таблице 8.3 в зависимости от высоты расположения рассматриваемой конструкции и гололедного района. Гололедный район для МСП определяют как наиболее близкий к точке эксплуатации проектируемого сооружения район в соответствии с СП 20.13330.2016 (карта 3 приложения Е). В случае если точка эксплуатации МСП располагается на сравнительно одинаковом отдалении от нескольких гололедных районов, для расчетных целей принимают гололедный район, которому соответствуют более высокие нагрузки по таблице 8.3.

Таблица 8.3 — Нормативное значение нагрузки от атмосферного обледенения

Высота конструкции над уровнем моря, м	Нагрузка от атмосферного обледенения, кг/м^2				
	Гололедный район				
	I	II	III	IV	V
5	2,2	3,6	7,2	10,8	14,4
10	2,7	4,5	9,0	13,5	18,0
20	3,2	5,4	10,8	16,2	21,6
30	3,8	6,3	12,6	18,9	25,2
50	4,3	7,2	14,4	21,6	28,8
70	4,9	8,1	16,2	24,3	32,4
100	5,4	9,0	18,0	27,0	36,0
Примечание — Промежуточные значения величин следует определять линейной интерполяцией.					

8.5.4.6 Нагрузку от снега на открытые участки палуб МСП (независимо от высоты расположения) определяют по таблице 8.4 в зависимости от района эксплуатации сооружения. Снеговой район для МСП определяют как наиболее близкий к точке эксплуатации проектируемого сооружения район в соответствии с СП 20.13330.2016 (карта 1 приложения Е). В случае если точка эксплуатации МСП располагается на сравнительно одинаковом отдалении от нескольких снеговых районов, для расчетных целей принимают снеговой район, которому соответствуют более высокие нагрузки по таблице 8.4.

Таблица 8.4 — Нормативные значения нагрузки от снегового покрова

Наименование	Снеговой район							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Нагрузка от снегового покрова, кг/м^2	13,5	22,6	30	75	120	150		

8.5.5 Ледовые нагрузки

8.5.5.1 При проектировании МСП для эксплуатации на шельфе замерзающих морей требуется оценка ледовых воздействий на сооружение.

8.5.5.2 Ледовые воздействия необходимо учитывать при проектировании как всего сооружения в целом, так и его отдельных элементов. В связи с этим должны быть рассмотрены расчетные ситуации, учитывающие воздействие на платформу глобальных и локальных ледовых нагрузок. При этом глобальные ледовые нагрузки используют для оценки общей прочности сооружения, его устойчивости и возможности усталостного разрушения; локальные нагрузки используют при расчетах местной прочности ледового пояса.

8.5.5.3 Нормативные значения ледовых нагрузок должны определяться на основании:

- статистических данных о гидрологическом и ледовом режимах района расположения сооружения;
- физико-механических свойств льда;
- данных о геометрических характеристиках опорной части платформы и условий его контакта со льдом.

8.5.5.4 Нормативные значения глобальной ледовой нагрузки необходимо определять согласно СП 38.13330.

8.5.5.5 В случае если форма опорной части проектируемого сооружения отличается от расчетных схем, рассмотренных в СП 38.13330, то, ввиду значительного влияния на величину глобальной ледовой нагрузки формы опорной части платформы и глубины акватории в районе расположения МСП для определения глобальных ледовых нагрузок на сооружение рекомендуется осуществлять проведение модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне, а принимаемые для проектирования нормативные значения ледовых нагрузок определять исходя из сравнительного анализа величин, полученных в результате модельных испытаний расчетными методами, и данных о ледовой нагрузке для аналогичных или близких по району эксплуатации объектов.

8.5.5.6 Для уточнения величин ледовых нагрузок, действующих на МСП, помимо модельных испытаний, могут быть использованы специализированные программные комплексы.

8.5.5.7 Указания по определению величин локальных ледовых давлений на конструкции наружного борта опорной части ледостойких МСП представлены в 11.3.

8.5.6 Обрастание морскими организмами

8.5.6.1 При проектировании МСП следует принимать во внимание обрастание морскими организмами элементов опорной части сооружения, находящихся под водой и в зоне периодического смачивания.

8.5.6.2 Обрастание морскими организмами может оказывать влияние на гидродинамические характеристики элементов ОЧ за счет увеличения их шероховатости и размеров поперечных сечений, увеличения массы элементов конструкции, а также ускорение коррозионных процессов.

8.5.6.3 Изменение сопротивления обтекаемых элементов конструкции вследствие морского обрастания при расчете нагрузок от волн и течений должно быть учтено путем применения уточненных значений коэффициентов инерционного и скоростного сопротивлений, определенных опытным путем, либо по данным, полученным для близких по району эксплуатации объектов.

8.5.6.4 Для уменьшения воздействий от морского обрастания в составе проекта МСП может быть разработана программа мер по противодействию обрастанию морскими организмами, в которой должно быть предусмотрено использование систем, предупреждающих обрастание на протяжении всего срока службы платформы, или периодические очистки конструкций.

8.6 Коэффициенты надежности по нагрузкам

8.6.1 В таблице 8.5 приведены коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f для расчета конструкций МСП по основному предельному состоянию. При расчетах по предельному состоянию по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа предельных состояний), особому предельному состоянию и предельному состоянию по критерию усталостной прочности значения коэффициентов надежности по нагрузке γ_f принимают равными 1,0.

8.6.2 Ввиду имеющегося отработанного подхода к проектированию конструкций МСП в соответствии с принципами судостроения, подразумевающего применение для платформ типовых судовых конструкций, судостроительных материалов и технологий, а также изготовление на судостроительных предприятиях, в таблице 8.5 для постоянных и временных длительных нагрузок указаны коды статей нагрузки в соответствии с [8].

Таблица 8.5 — Значения коэффициентов надежности по нагрузке

Код статьи нагрузки по [8]	Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Постоянные нагрузки		
0101 0102	Корпус металлический с подкреплениями и фундаментами	1,05 (0,95)
0103	Дельные вещи (иллюминаторы, двери, люки, трапы, тенты)	1,05 (0,95)
0105	Окраска и покрытия (покрытия палуб, огнезащита)	1,2 (0,9)
0106	Изоляция и зашивка	1,2 (0,9)
0108	Оборудование помещений (местные легкие полы, витражи, декоративные панели)	1,1 (0,9)
02	Устройства судовые (швартовное, буксирное, спасательное, грузовое и т. д.)	1,05 (0,95)
03	Системы (трубопроводы) и механизмы систем	1,05 (0,95)
04	Установки энергетические главная и вспомогательная, включая из системы	1,05 (0,95)
05	Электроэнергетическая система, внутренняя связь и управление (источники энергии, кабель силовой, система передачи и распределения энергии, сети оповещения и освещения, компьютерные сети, электрослесарное насыщение и т. д.)	1,1 (0,9)
07	Вооружение (средства радиосвязи, штурманское вооружение, кабель)	1,1 (0,9)
10	Балласт	1,0
13	Снабжение и имущество (аварийно-спасательное и противопожарное)	1,1 (0,9)
21	Производственно-технологическое оборудование (буровая установка, оборудование основного бурового и вспомогательного бурового комплекса и трубопроводы)	1,05 (0,95)
12	Жидкие грузы в системах, оборудовании и механизмах	1,1 (0,9)
	Гидростатическое давление воды	1,0
Временные длительные нагрузки		
12	Жидкие грузы (топливо, масло, запасы/отходы воды и технологических растворов и реагентов)	1,0
15	Сыпучие грузы (хим. реагенты, цемент, барит, суспензии, шлам и другие материалы, располагаемые россыпью)	1,1
15	Сыпучие грузы в системах, оборудовании и механизмах	1,1
15	Бурильные трубы	1,05
15	Нагрузка от веса биологического морского обрастания	1,2
	Эквивалентные равномерно-распределенные нагрузки на перекрытия (см. 8.3.4)	1,0
Кратковременные нагрузки		
Ветровая		1,4/1,0
Нагрузка от волн и течения		1,0/1,0
Ледовые нагрузки		1,1/1,0
Нагрузка от обледенения надводных конструкций		1,8/1,0
Нагрузка от снега		1,4/1,0
Нагрузка от судов		1,1
Нагрузка от массы вертолета на взлетно-посадочную площадку		1,0*

Окончание таблицы 8.5

Примечания

1 Значения коэффициента надежности по нагрузке, указанные в скобках, относятся к случаю, когда применение минимальных значений коэффициентов приводит к невыгодному случаю загружения сооружения, а также при расчете на устойчивость положения.

2 В знаменателе указаны значения коэффициентов надежности для нагрузок от окружающей среды, которые необходимо принимать при наличии в результатах инженерно-гидрометеорологических изысканий, выполненных в соответствии с требованиями СП 11-103, СП 11-114 и содержащих достаточно подробные данные для конкретной точки эксплуатации.

* Значение применительно только для расчета общей прочности сооружения. Проектирование конструкций вертолетных взлетно-посадочных площадок должно осуществляться в соответствии с руководством [7].

9 Формирование сочетаний нагрузок

9.1 При проектировании МСП должен быть выполнен поиск и оценка всех возможных на практике наихудших сочетаний одновременно действующих нагрузок, приводящих к наиболее опасному напряженно-деформированному состоянию конструкций.

9.2 Взаимоисключающие нагрузки и воздействия не должны присутствовать в одном и том же сочетании.

9.3 В зависимости от учитываемого состава нагрузок и рассматриваемого предельного состояния различают основные и особые сочетания нагрузок.

9.4 Основные сочетания применяют при оценке механической безопасности МСП по основному предельному состоянию (первая группа предельных состояний) и предельному состоянию по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа предельных состояний).

Основные сочетания нагрузок включают в себя расчетные значения всех одновременно действующих на сооружение постоянных, длительных и кратковременных нагрузок.

Суммарное силовое воздействие F_Σ на сооружение для основного сочетания нагрузок определяют выражением

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} F_{d,i} + \sum_{j=1}^{m} F_{l,j} + \sum_{k=1}^{p} \gamma_{t,k} F_{t,k}, \tag{9.1}$$

где $F_{d,i}$ — постоянные нагрузки согласно 8.2;

$F_{l,j}$ — временные длительные нагрузки согласно 8.3;

$F_{t,k}$ — временные кратковременные нагрузки в соответствии с 8.3 и 8.5;

$\gamma_{t,k}$ — коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок. Для всех кратковременных нагрузок основного сочетания коэффициенты сочетаний γ_t принимают равными 1,0;

n, m, p — количество учитываемых в одном сочетании одновременно действующих постоянных, временных длительных и кратковременных нагрузок.

9.5 Особые сочетания нагрузок рассматривают при расчете МСП или его элементов по особому предельному состоянию. При этом в каждом особом сочетании нагрузок следует учитывать только одну особую нагрузку, если другие особые нагрузки с ней не связаны.

Суммарное силовое воздействие F_Σ на сооружение для особого сочетания нагрузок определяют выражением

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} F_{d,i} + F_S + \sum_{j=1}^{m} F_{l,j} + \gamma_{t,1} F_{t,1}, \tag{9.2}$$

где F_S — особая нагрузка в соответствии с подразделом 8.4;

$F_{t,1}$ — основная по степени влияния на рассматриваемую расчетную ситуацию кратковременная нагрузка;

$\gamma_{t,1}$ — коэффициент сочетаний для основной по степени влияния на рассматриваемую расчетную ситуацию кратковременной нагрузки, принимаемый равным 0,5.

10 Материалы несущих конструкций

10.1 Выбор стали для корпусных конструкций

10.1.1 Материалы для изготовления стальных конструкций платформ должны иметь сертификат соответствия установленной формы к механическим свойствам и химическому составу.

10.1.2 Для изготовления конструктивных элементов платформ или их отдельных частей следует использовать прокат по ГОСТ Р 52927 и ГОСТ 27772.

10.1.3 Материалы по 10.1.2 могут быть заменены на эквивалентные материалы по механическим свойствам и химическому составу.

10.1.4 Категорию стали для конкретного конструктивного элемента платформы назначают по таблице 10.1 в зависимости от расчетной температуры материала конструкции T_D, определяемой по 10.3 и степени ответственности данного элемента согласно классификации по 6.3.

10.1.5 Для изготовления элементов конструкций корпуса, выходящих по толщине за область требований таблицы 10.1, а также элементов, подверженных длительному воздействию низких температур и многоцикловым нагружениям, рекомендуется применять сталь с индексом «Arc» в соответствии с правилами РМРС [2] (пункт 3.5.3 части XIII), со значением минимальной рабочей температуры T_d, соответствующим расчетной температуре элемента конструкции T_D.

Таблица 10.1 — Определение категории стали для конструктивных элементов

Конструктивные элементы	Марка (категория) стали по ГОСТ Р 52927	Категория стали по ГОСТ 27772	Предел текучести R_{eH}, МПа	Расчетная температура материала конструкции, °С						
				0	–10	–20	–30	–40	–50	–60
				Толщина стенки элемента конструкции, мм, не более:						
Второстепенные	A	4	До 290 включ.	30	20	10	—	—	—	—
	B	4		40	30	20	10	—	—	—
	D	5		50	50	45	35	25	15	—
	E	6		50	50	50	50	45	35	25
	F	7		50	50	50	50	50	50	45
	A32, A36, A40	4	От 290 до 390 включ.	40	30	20	10	—	—	—
	D32, D36, D40	5		50	50	45	35	25	15	—
	E32, E36, E40	6		50	50	50	50	45	35	25
	F32, F36, F40	7		50	50	50	50	50	50	45
	AH420, AH460, AH500	4	От 390 до 540 включ.	40	25	10	—	—	—	—
	DH420, DH460, DH500	5		50	45	35	25	15	—	—
	EH420, EH460, EH500	6		50	50	50	45	35	25	15
	FH420, FH460, FH500	7		50	50	50	50	50	45	35
Основные	A	4	До 290 включ.	20	10	—	—	—	—	—
	B	4		25	20	10	—	—	—	—
	D	5		45	40	30	20	10	—	—
	E	6		50	50	50	40	30	20	—
	F	7		50	50	50	50	40	30	25
	A32, A36, A40	4	От 290 до 390 включ.	25	20	10	—	—	—	—
	D32, D36, D40	5		45	40	30	20	10	—	—
	E32, E36, E40	6		50	50	50	40	30	20	15
	F32, F36, F40	7		50	50	50	50	50	40	30

Окончание таблицы 10.1

Конструктивные элементы	Марка (категория) стали по ГОСТ Р 52927	Категория стали по ГОСТ 27772	Предел текучести R_{eH}, МПа	Расчетная температура материала конструкции, °С						
				0	–10	–20	–30	–40	–50	–60
				Толщина стенки элемента конструкции, мм, не более:						
Основные	AH420, AH460, AH500	4	От 390 до 540 включ.	20	—	—	—	—	—	—
	DH420, DH460, DH500	5		45	35	25	15	—	—	—
	EH420, EH460, EH500	6		50	50	45	35	25	15	—
	FH420, FH460, FH500	7		50	50	50	50	45	35	25
Специальные	A	4	До 290 включ.	15	—	—	—	—	—	—
	B	4		15	—	—	—	—	—	—
	D	5		30	20	10	—	—	—	—
	E	6		50	45	35	25	15	—	—
	F	7		50	50	50	45	35	25	15
	A32, A36, A40	4	От 290 до 390 включ.	15	—	—	—	—	—	—
	D32, D36, D40	5		30	20	10	—	—	—	—
	E32, E36, E40	6		50	45	35	25	15	—	—
	F32, F36, F40	7		50	50	50	50	40	30	20
	AH420, AH460, AH500	4	От 390 до 540 включ.	—	—	—	—	—	—	—
	DH420, DH460, DH500	5		25	15	—	—	—	—	—
	EH420, EH460, EH500	6		50	40	30	20	10	—	—
	FH420, FH460, FH500	7		50	50	50	40	30	20	10

Примечания

1 Для промежуточных значений температур допускается линейная интерполяция.

2 Для второстепенных конструкций допускается к использованию прокат с техническими требованиями по ГОСТ 14637, ГОСТ 535, ГОСТ 5521, ГОСТ 10705, ГОСТ 8731 с эквивалентными механическими свойствами и химическим составом.

10.1.6 Если в направлении толщины проката элемента конструкции действуют высокие местные напряжения, то при толщине конструктивного элемента более 18 мм он должен изготавливаться из материала с гарантированными свойствами в направлении толщины проката (зет-стали) с группами качества по ГОСТ 28870, если не были приняты конструктивные меры по предотвращению слоистого разрыва.

10.2 Температура окружающей среды

За расчетную температуру окружающего воздуха T_A, в зависимости от того что меньше (ниже), принимают:

- расчетную температуру, указанную в техническом задании на проектирование;
- температуру окружающего воздуха по результатам инженерных изысканий;
- сведения о самой низкой среднесуточной температуре для района предполагаемой эксплуатации платформы, полученной на основании метеорологических данных, по крайней мере, за 10 лет;
- температуру наиболее холодных суток с обеспеченностью 0,98, определенную согласно СП 131.13330;
- среднюю суточную температуру наружного воздуха в холодное время года, определяемую по формуле

$$T_A = t_{min} + 0{,}5A_l, \qquad (10.1)$$

где t_{min} — нормативное значение минимальной температуры воздуха, принимаемое по СП 20.13330.2016 (карты 4 и 4а приложения Е);

A_l — средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее холодного месяца, принимаемая по СП 131.13330.2020 (таблица 3.1).

10.3 Расчетная температура материала конструкций

10.3.1 Расчетную температуру материала конструкций определяют экспериментально или расчетом, исходя из принятой минимальной среднесуточной температуры T_A, определяемой согласно 10.2. При отсутствии указанных обоснований расчетную температуру материала наружных надводных конструктивных элементов принимают равной температуре окружающего воздуха.

10.3.2 Минимальную расчетную температуру для элементов платформ, которые во всех режимах эксплуатации имеют контакт с водой, принимают равной температуре замерзания воды, указанной в результатах инженерных изысканий.

10.3.3 Допускается приближенное определение расчетной температуры T_D конструкций исходя из установленной указанным путем величины T_A в соответствии с рекомендациями, приведенными в таблице 10.2.

Таблица 10.2 — Расчетная температура конструкций элементов платформ

Конструкции	Наличие изоляции	Наличие подогрева	Расчетная температура, T_D		
			Район грузовых помещений		Район помещений, не относящихся к грузовым
			Танки	Трюмы*	
Открытая часть палубы, бортовая обшивка выше ватерлинии и примыкающие к ним набор и участки шириной до 1 м конструкций переборок, палуб, платформ, подпалубных цистерн и т. п.	Есть	Нет	T_A		
	—	Есть	$0{,}50T_A$		
	Нет	Нет	$0{,}70 \cdot T_A$	$T_A + 5$ °C	$0{,}60 \cdot T_A$
Часть расчетной палубы под необогреваемыми надстройками	—	Нет	–10 °C		
Наружные конструкции надстроек	Есть	Есть	$0{,}50 \cdot T_A$		
		Нет	$0{,}70 \cdot T_A$		
Конструкции, охлаждаемые наружным воздухом с обеих сторон	Нет	Нет	T_A		
Часть бортовой обшивки и примыкающие к ним набор и участки шириной до 1 м конструкций переборок в районе переменной ватерлинии	Есть	Нет	$0{,}55 \cdot T_A$		
	—	Есть	$0{,}35 \cdot T_A$		
	Нет	Нет	$0{,}40 \cdot T_A$		

Примечания

1 Для наружных конструкций подводной части корпуса T_D принимают равной температуре замерзания воды, указанной в результатах инженерных изысканий.

2 «—» означает, что наличие изоляции не влияет на расчетную температуру.

* А также склады и другие помещения, имеющие большие раскрытия для проведения длительных грузовых операций.

10.4 Коэффициенты надежности по материалам

10.4.1 Коэффициент надежности по материалу γ_m, применяемый при определении величины обобщенной несущей способности в расчетах сооружений по основному предельному состоянию в соответствии с 7.2, должен определяться в зависимости от предела текучести материала и толщины применяемого стального проката по таблице 10.3.

Таблица 10.3 — Значения коэффициента надежности по материалу

Предел текучести R_{eH}, МПа	Коэффициент надежности по материалу γ_m при толщине, мм		
	< 30	30—50	≥ 50
До 290 включ.	1,025	1,093	1,175
От 290 до 390 включ.	1,025	1,070	1,125
От 390 до 540 включ.	1,025	1,025	1,050

10.4.2 При расчетах по предельному состоянию по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа предельных состояний), особому предельному состоянию и предельному состоянию по критерию усталостной прочности значения коэффициентов надежности по материалу принимают равными 1,0.

11 Выполнение расчетов прочности

11.1 Общие положения

В данном разделе раскрыты вопросы проектирования, специфичные для МСП и их отдельных элементов, которые следует принимать во внимание при выполнении расчетов прочности, а именно:

- учет износа конструктивных элементов, в том числе и конструкций ледового пояса;
- оценка местной прочности конструкций ледового пояса платформы в зоне действия локальных ледовых давлений;
- проверка устойчивости конструктивных элементов корпуса МСП;
- проектирование фундаментов сооружений;
- положения по расчетам усталостной прочности;
- приведены требования к созданию конечно-элементных моделей.

11.2 Износ конструктивных элементов

11.2.1 Размеры конструктивных элементов МСП следует назначать с учетом надбавки на коррозионный износ, а наружной обшивки ледового пояса ледостойкой МСП — с учетом запасов на коррозионно-эрозионный износ, возникающий вследствие ледового воздействия.

11.2.2 К толщине конструктивных элементов, обоснованной расчетами прочности, требуется надбавка на коррозионный износ Δs, мм, определяемая по формуле

$$\Delta s = k \cdot u \cdot T^*, \qquad (11.1)$$

где u — расчетная скорость коррозионного износа, мм/год;

$T^* = T/2$ — для конструктивных элементов МСП ремонтопригодных в процессе эксплуатации;

$T^* = T$ — для конструктивных элементов МСП, неремонтопригодных в течение всего срока службы платформы;

T — расчетный срок эксплуатации МСП, лет;

k — коэффициент, учитывающий положительное влияние защитных мероприятий по уменьшению износа ($k \le 1$).

11.2.3 Расчетную скорость износа принимают по данным об износе выбранных сталей в условиях, соответствующих условиям эксплуатации МСП без учета положительного влияния защитных мероприятий по уменьшению износа. За неимением таких данных расчетная скорость износа может быть назначена с учетом таблицы 11.1.

11.2.4 Коэффициент k, учитывающий положительное влияние защитных мероприятий по уменьшению износа, может приниматься меньше единицы в том случае, если используют эффективную защиту конструктивных элементов от коррозии или применяют специализированные покрытия и материалы против истирания поверхности льдом. Коэффициент вводится только для тех элементов, на которые распространяются защитные мероприятия.

11.2.5 Для конструкций МСП, оборудованных эффективной системой коррозионной защиты, величина коэффициента k = 0,5, если защищены обе поверхности конструктивного элемента и k = 0,75, если защищена одна поверхность конструктивного элемента.

11.2.6 Минимальная надбавка на коррозию должна быть не менее Δs = 1,0 мм.

11.2.7 Указания по определению износа конструкций наружной обшивки ледового пояса от абразивного истирания льдом представлены в 11.3.3.

Таблица 11.1 — Среднегодовое уменьшение толщины элементов конструкций корпуса

№ п/п	Наименование конструктивного элемента	Расчетная скорость коррозии u, мм/год
1 Верхние строения		
1.1	Настилы крыш, палуб и платформ, подверженные воздействию атмосферных осадков	0,13
1.2	Настил палуб и платформ в жилых и производственных помещениях	0,14
1.3	Набор палуб и платформ	0,12
1.4	Переборки и выгородки (обшивка и элементы набора) жилых и производственных помещений	0,1
1.5	Стойки и раскосы несущих ферм	0,1
1.6	Конструкции нижней палубы (настил и элементы набора)	0,14
2 Опорные части		
Опорные блоки ферменного типа (джекет)		
2.1	Стойки (ноги), диафрагмы, раскосы:	
	- конструкции выше зоны периодического смачивания;	0,11
	- зона периодического смачивания;	0,3
	- конструкции подводной части ниже зоны периодического смачивания	0,12
Опорные блоки водоизмещающего типа		
2.2	Днищевая обшивка сухих отсеков	0,14
2.3	Набор днища сухих отсеков	0,14
2.4	Днищевая обшивка балластных отсеков	0,2
2.5	Набор днища балластных отсеков	0,2
2.6	Конструкции междудонного пространства (пространство между днищем и вторым дном) не предназначенное для заполнения	0,14
2.7	Настил второго дна сухих отсеков	0,14
2.8	Набор второго дна сухих отсеков	0,14
2.9	Настил второго дна балластных отсеков	0,2
2.10	Набор второго дна балластных отсеков	0,2
2.11	Настил второго дна топливных отсеков	0,17
2.12	Набор второго дна топливных отсеков	0,15
2.13	Бортовая обшивка, являющаяся стенкой сухих отсеков:	
	- выше зоны периодического смачивания (надводная часть);	0,1
	- зона периодического смачивания;	0,17
	- ниже зоны периодического смачивания (подводная часть)	0,14
2.14	Набор бортов сухих отсеков	0,1

Окончание таблицы 11.1

№ п/п	Наименование конструктивного элемента	Расчетная скорость коррозии u, мм/год
2.15	Бортовая обшивка, являющаяся стенкой балластных отсеков:	
	- выше зоны периодического смачивания (надводная часть);	0,21
	- зона периодического смачивания;	0,21
	- ниже зоны периодического смачивания (подводная часть)	0,18
2.16	Набор бортов балластных отсеков	0,21
2.17	Обшивка переборок между сухими отсеками	0,1
2.18	Обшивка переборок между сухими и балластными отсеками:	
	- верхний пояс;	0,13
	- средний пояс;	0,15
	- нижний пояс	0,16
2.19	Обшивка переборок между балластными отсеками:	
	- верхний пояс;	0,16
	- средний пояс;	0,2
	- нижний пояс	0,22
2.20	Обшивка переборок между сухими и топливными отсеками:	
	- верхний пояс;	0,15
	- средний пояс;	0,12
	- нижний пояс	0,16
2.21	Обшивка переборок между топливными и балластными отсеками:	
	- верхний пояс;	0,18
	- средний пояс;	0,16
	- нижний пояс	0,2
2.22	Обшивка переборок между топливными отсеками:	
	- верхний пояс;	0,2
	- средний пояс;	0,13
	- нижний пояс	0,18
2.23	Набор переборок при его расположении со стороны сухого отсека	0,1
2.24	Набор переборок при его расположении со стороны балластного отсека	0,21
2.25	Набор переборок при его расположении со стороны топливного отсека	0,18
2.26	Конструкции палуб и платформ с набором	
	- сухой отсек;	0,12
	- балластный отсек;	0,18
	- топливный отсек	0,15

11.3 Местная прочность конструкций при действии ледовых давлений

11.3.1 Протяженность ледового пояса по высоте

Протяженность ледового пояса по высоте должна быть не менее

$$l = \Delta_{100} + 2 \cdot \alpha_1 \cdot h_{c,100}, \quad (11.2)$$

где Δ_{100} — максимальный размах изменения уровня моря относительно среднего уровня моря, возможный один раз в 100 лет, м;

$\alpha_1 = 1,1$ — коэффициент запаса;

$h_{c,100}$ — толщина консолидированного слоя тороса, возможная один раз в 100 лет (в отсутствие торосов принимают толщину ровного или наслоенного льда), м.

Величину l откладывают симметрично относительно среднего уровня воды вверх и вниз.

11.3.2 Локальные ледовые давления

11.3.2.1 Локальные ледовые давления на конструкции в районе ледового пояса конической преграды определяют по формуле

$$p = \bar{\sigma}_c \cdot \left(1 + 2\sqrt{\frac{2}{A_1}}\right)\frac{\sqrt{\alpha}}{8,5}, \quad (11.3)$$

где $\bar{\sigma}_c$ — среднее значение предела прочности льда на сжатие, МПа. При отсутствии данных о средней прочности льдов в качестве первого приближения можно принять $\bar{\sigma}_c = 0,75 \cdot \sigma_c^{100}$;

σ_c^{100} — значение предела прочности льда на сжатие, отвечающее повторяемости один раз в 100 лет;

A_1 — площадь контакта, м^2;

α_1 — угол наклона образующей конуса к горизонту, град.

При $\alpha < 18°$ давление p определяют как при 18°;

при $\alpha > 72°$ давление p определяют как при 72°;

при $p > 10$ МПа давление p принимают равным 10 МПа.

Локальные ледовые давления на конструкции в районе ледового пояса вертикальной преграды определяют по формуле (11.3), в которой следует исключить сомножитель $\sqrt{\alpha}/8,5$.

11.3.2.2 Локальные ледовые давления на конструкции в районах выше и ниже ледового пояса определяют как часть давлений p на конструкции ледового пояса:

- локальные ледовые давления на конструкции ниже ледового пояса протяженностью $0,5h_k$ (h_k — осадка киля тороса, м) определяют в соответствии с зависимостью $p_н = p/4$, но не менее 2 МПа, где p соответствует формуле (11.3);
- величина ледовых давлений ниже указанных зон (если такое возможно) должна определяться с учетом особенностей ледовой обстановки района эксплуатации;
- локальные ледовые давления на конструкции выше ледового пояса в зоне действия паруса тороса определяют в соответствии с зависимостью $p_в = p/8$, но не менее 1,5 МПа.

11.3.3 Износ конструкций ледового пояса

11.3.3.1 Наружная обшивка

Износ наружной обшивки ледового пояса следует определять как сумму коррозионного износа и износа от истирания льдом по формуле

$$\Delta S = (u_{кор} \cdot k + u_{изн}) \cdot T^*, \quad (11.4)$$

где $u_{кор}$ — расчетная скорость коррозионного износа (принимают в соответствии с таблицей 11.1), мм/год;

$u_{изн}$ — расчетная скорость износа от истирания льдом, мм/год;

$T^* = T/2$ — для конструктивных элементов МСП ремонтопригодных в процессе эксплуатации;

$T^* = T$ — для конструктивных элементов МСП неремонтопригодных в течение всего срока службы платформы;

T — расчетный срок эксплуатации МСП, лет;

k — коэффициент, учитывающий положительное влияние защитных мероприятий по уменьшению износа ($k \le 1$) в соответствии с 11.2.4 и 11.2.5.

Расчетную скорость износа обшивки от истирания льдом следует определять из аналитической зависимости, устанавливающей связь скорости износа от истирания участков обшивки с уровнем ледового давления на этот участок

$$u_{изн} = 0{,}11 \cdot (1 + p^{0{,}67}). \quad (11.5)$$

При этом давление p следует определять по формуле (11.3) при условии, что значение предела прочности льда на сжатие σ_c отвечает повторяемости ледовых условий 1 раз в 5 лет.

11.3.3.2 Катаный профиль для балок основного набора

При определении жесткостных характеристик балок катаного профиля необходимо учитывать поправку на коррозионный износ к площади сечения стенки и моменту сопротивления в соответствии с формулой

$$\omega = 1 + \alpha_k \cdot \Delta s, \quad (11.6)$$

где $\alpha_k = 0{,}07 + \frac{6}{W'} \le 0{,}25$ при $W' < 200$ см^3;

$\alpha_k = \frac{1}{0{,}15}\left(0{,}01 + \frac{1}{W'}\right)$ при $W' \ge 200$ см^3;

W' — предельный момент сопротивления рассматриваемой балки без учета запаса на коррозионный износ.

11.3.4 Критерии прочности

11.3.4.1 Критерий предельной прочности для расчета перекрытий наружного борта определяют по формулам:

$$\sigma \le R_{eH}, \quad (11.7)$$

$$\tau \le 0{,}57 \cdot R_{eH}, \quad (11.8)$$

где σ и τ — наибольшие нормальные и касательные напряжения в элементах поперечных сечений рамных балок при действии локальных ледовых давлений, МПа;

R_{eH} — расчетный предел текучести стали, МПа, определяемый с учетом коэффициента надежности по материалу в соответствии с 10.4.

11.3.4.2 Критерий предельной прочности для расчета пластин и ребер жесткости в районе ледового пояса определяют по формуле

$$P_p \le P_{ult}/\gamma, \quad (11.9)$$

где P_p — расчетная нагрузка на конструктивный элемент (пластина или ребро жесткости), МПа;

P_{ult} — предельная нагрузка на конструктивный элемент (пластина или ребро жесткости), МПа. В качестве предельной нагрузки p_{ult} следует рассматривать: p_{ult} — предельное давление на пластину и Q_{ult} — предельную нагрузку на ребро жесткости в соответствии с 11.3.4.3 и 11.3.4.4;

$\gamma = 1{,}1$ — коэффициент запаса по предельной нагрузке для основных конструктивных элементов.

11.3.4.3 Предельное давление на пластину p_{ult}, которая является защемленной на опорном контуре и загружена равномерно распределенной нагрузкой по полю пластины, определяют по формуле

$$p_{ult} = 4 \cdot R_d \cdot (s/a)^2 \cdot [1 + 2 \cdot (a/b)^2], \quad (11.10)$$

где R_d — расчетный предел текучести стали, МПа, определяемый с учетом коэффициента надежности по материалу в соответствии с 10.4;

s — расчетная толщина пластины, м;

a — длина меньшей стороны опорного контура пластины, м;

b — длина большей стороны опорного контура пластины, м.

11.3.4.4 Предельную нагрузку на ребро жесткости Q_{ult}, которое является защемленным по концам и загружено равномерно распределенной нагрузкой, определяют по формуле

$$Q_{ult} = \frac{16 W_{ult}}{l} \cdot R_d \cdot \bar{Q}, \quad (11.11)$$

где W_{ult} — предельный момент сопротивления поперечного сечения ребра жесткости с учетом присоединенного пояска (с учетом коррозионного износа), м^3;

l — пролет ребра жесткости между его опорами, м;

$\bar{Q} \le 1$ — функциональный коэффициент, учитывающий влияние перерезывающих сил в опорных сечениях

$$\bar{Q} = \frac{1}{1 + 5{,}77 \cdot \left[\left(W_{ult}/(F_W \cdot l^2)\right) \cdot (l - 0{,}5 \cdot a)\right]^2},$$

F_w — расчетная площадь поперечного сечения стенки ребра жесткости, м^2;

a — расстояние между ребрами жесткости, м.

11.3.5 Особенности расчета прочности конструкций ледового пояса

11.3.5.1 При расчете прочности конструкции на действие ледовых нагрузок рекомендуется различать следующие этапы нагружения:

- нагружены отдельные конструктивные элементы — пластины, ребра жесткости;
- нагружены перекрытия конструкции.

В соответствии с этими этапами конструктивные элементы ледового пояса должны рассчитываться так, как это определено ниже.

11.3.5.2 Если нагружены перекрытия конструкции, то в качестве расчетных нагрузок принимают локальные ледовые давления, определенные в соответствии с 11.3.2. При этом расчетная площадь контакта A должна определяться следующим образом:

$$A = 10 \text{ м}^2, \text{ если } S_{gr} \le 10 \text{ м}^2,$$

$$A = S_{gr}, \text{ если } S_{gr} > 10 \text{ м}^2,$$

где S_{gr} — площадь поверхности перекрытия, ограниченная опорным контуром, м^2.

На основании расчета перекрытия выбирают размеры рамных балок, и для них должен быть удовлетворен критерий прочности, указанный в 11.3.4.1.

11.3.5.3 Если нагружены отдельные конструктивные элементы — пластины, ребра жесткости, то в качестве расчетных нагрузок принимают локальные ледовые давления, определенные в соответствии с 11.3.2. При этом расчетная площадь контакта A должна определяться следующим образом:

$$A = 1 \text{ м}^2, \text{ если } S_p \le 1 \text{ м}^2,$$

$$A = S_p, \text{ если } S_p > 1 \text{ м}^2,$$

где S_p — площадь поверхности пластины или площадь загрузки ребра жесткости.

11.4 Устойчивость конструктивных элементов

11.4.1 Критерий предельного состояния (7.1) при проверке устойчивости элементов конструкции имеет вид:

- для плоских листовых элементов (пластин настилов, обшивок и пр.), а также для балок набора и других стержневых элементов, при действии на рассматриваемый элемент только однокомпонентной нагрузки:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} \le \frac{1}{\gamma_n}, \tag{11.12}$$

$$\frac{\tau}{\tau_{cr}} \le \frac{1}{\gamma_n}, \tag{11.13}$$

где σ, τ — действующие нормальные сжимающие и касательные напряжения, МПа;

σ_{cr}, τ_{cr} — критические нормальные и касательные напряжения, МПа (см. 11.4.3);

$\gamma_n = 1{,}25$ — коэффициент надежности по ответственности;

- для плоских листовых элементов при одновременном действии на рассматриваемый элемент нескольких нагрузок, действующих в разных направлениях

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\sigma_i/\sigma_{cr,i}\right)^2} \le \frac{1}{\gamma_n}, \tag{11.14}$$

где n — число простых форм напряжений, с помощью которых может быть представлено действительное напряженное состояние (например, сжатие в направлениях x, y; средние касательные напряжения);

σ_i — действующие напряжения i-й формы, МПа;

$\sigma_{cr,i}$ — критические напряжения, МПа, соответствующие i-й форме напряжений;

- для балок набора и других стержневых элементов, подверженных совместному сжатию и изгибу

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_{cr}\eta_1} + \frac{\sigma_{xbend}}{\eta R_d} \le 1, \quad (11.15)$$

где σ_x — расчетные сжимающие напряжения в рассматриваемом элементе, вызванные действием осевой силы, МПа;

η_1 — коэффициент безопасности при осевом сжатии, зависящий от гибкости стержневого элемента и определяемый в соответствии с 11.4.2;

σ_{xbend} — расчетные напряжения в рассматриваемом элементе, МПа, вызванные действием изгибающего момента;

$\eta = 0{,}8$ — коэффициент безопасности при изгибе;

R_d — расчетный предел текучести стали, МПа, определяемый с учетом коэффициента надежности по материалу в соответствии с 10.4.

11.4.2 Коэффициент безопасности, η_1, при проверке устойчивости сжатых стержневых элементов определяют по формулам:

$$\eta_1 = 0{,}84(1 - 0{,}2\lambda/\lambda_0), \text{ если } \lambda < \lambda_0, \quad (11.16)$$

$$\eta_1 = 0{,}67, \text{ если } \lambda \ge \lambda_0, \quad (11.17)$$

где $\lambda = l_e/\rho \le \lambda_{max}$ — гибкость рассматриваемого стержневого элемента;

l_e — приведенная длина пролета стержневого элемента, мм. Для свободно опертых стержневых элементов приведенную длину пролета принимают равной расстоянию между опорами элемента, для жестко заделанных — 0,6 от расстояния между опорами. Условия опирания концов балок определяют исходя из общеинженерных принципов с учетом реальной конструкции, и характеризуют наличием или отсутствием действия изгибающего момента в опорном сечении;

ρ — минимальный радиус инерции площади поперечного сечения стержневого элемента, мм;

λ_{max} — максимальная допускаемая гибкость стержневого элемента согласно таблице 11.2;

$$\lambda_0 = \sqrt{2\pi^2 E / R_{eH}},$$

E — модуль нормальной упругости стали, МПа;

R_{eH} — предел текучести стали, МПа.

Таблица 11.2 — Максимальная допускаемая гибкость стержневых элементов

Предел текучести стали R_{eH}, МПа	Максимальная допускаемая гибкость стержневых элементов λ_{max}
240	165
315	155
355	150
390	150
420	150
460	140
500	130

11.4.3 Критические напряжения определяют по формулам:

$$\sigma_{cr} = \sigma_e \text{ при } \sigma_e \le 0{,}6R_d, \tag{11.18}$$

$$\sigma_{cr} = R_d(1{,}113 - 0{,}32R_d/\sigma_e) \text{ при } 0{,}6R_d < \sigma_e < 2{,}4R_d, \tag{11.19}$$

$$\sigma_{cr} = R_d \text{ при } \sigma_e \ge 2{,}4R_d, \tag{11.20}$$

где σ_e — эйлерово нормальное напряжение, МПа, (см. 11.4.4, 11.4.5);

R_d — расчетный предел текучести стали, МПа. При определении величины критических касательных напряжений расчетный предел текучести стали по касательным напряжениям следует принимать равным $\tau_T = 0{,}57R_d$.

11.4.4 Эйлеровы нормальные σ_e и касательные τ_e напряжения, МПа, листовых элементов определяют как для прямоугольных пластин по формулам:

$$\sigma_e = 0{,}1854n(s'/b)^2, \tag{11.21}$$

$$\tau_e = 0{,}1854n(s'/b)^2, \tag{11.22}$$

где n — коэффициент, учитывающий степень неравномерности сжатия кромок и удлинение пластины (см. таблицу 11.3);

s' — толщина пластины, мм, уменьшенная на величину коррозионного износа к концу срока службы сооружения (см. 11.2);

b — сторона пластины, перпендикулярная направлению действия нормальных сжимающих напряжений; при действии на пластину касательных напряжений за b принимают меньшую сторону пластины, м.

11.4.5 Эйлеровы нормальные напряжения, σ_e, МПа, для балок набора и других стержневых элементов определяют по формуле

$$\sigma_e = 206I/fl_e^2, \tag{11.23}$$

где I — минимальный момент инерции стержневого элемента, см^4, вычисленный для толщины, уменьшенной на величину коррозионного износа к концу срока службы сооружения (см. 11.2);

f — площадь поперечного сечения стержневого элемента, см^2.

При проверке устойчивости балок набора момент инерции и площадь поперечного сечения должны вычисляться с учетом присоединенного пояска, вычисленных для толщины, уменьшенной на величину коррозионного износа к концу срока службы сооружения. При расчете момента инерции I поперечного сечения ширину присоединенного пояска $a_п$, м, принимают равной меньшей из величин, определяемых по формулам:

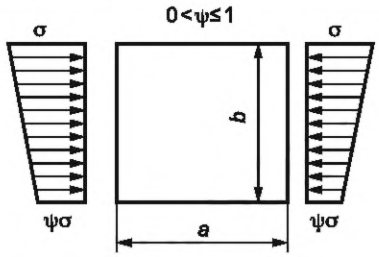
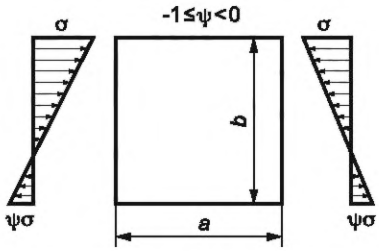
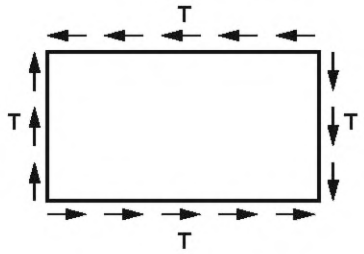
$$a_п = l_e/6, \tag{11.24}$$

$$a_п = 0{,}5(a_1 + a_2), \tag{11.25}$$

где a_1, a_2 — отстояния рассматриваемой балки набора от ближайших балок того же направления, расположенные по обе стороны от нее, м.

При определении площади поперечного сечения f ширину присоединенного пояска определяют по формуле (11.25).

Таблица 11.3 — Значения коэффициента учета степени неравномерности сжатия кромок и удлинения пластины

Вид нагружения	Отношение сторон пластины $\gamma = a/b$	Коэффициент n
	$\gamma > 1$	$\frac{8,4}{\psi + 1,1}$
	$\gamma < 1$	$\varepsilon\left(\gamma + \frac{1}{\gamma}\right)^2 \frac{2,1}{\psi + 1,1}$
	$\gamma > 1$	$10\psi^2 - 6,4\psi + 7,6$
	$\gamma < 1$	$\varepsilon[10\psi^2 - 14\psi + 1,9(1 + \psi)(\gamma + 1/\gamma)^2]$
	$\gamma > 1$	$5,34 + 4/\gamma^2$
Вид нагружения	Отношение сторон пластины $\gamma = a/b$	Коэффициент n

Примечания

1 ψ — коэффициент неравномерности загрузки кромок пластины;

2 ε — коэффициент, зависящий от вида балок, являющихся опорным контуром для пластины:

- $\varepsilon = 1,3$ — для пластины, подкрепленной балками рамного набора;
- $\varepsilon = 1,21$ — для пластины, подкрепленной балками углового, симметричного полособульбового или таврового профиля;
- $\varepsilon = 1,1$ — для пластины, подкрепленной балками полособульбового профиля;
- $\varepsilon = 1,05$ — для пластины, подкрепленной балками полосового профиля.

11.5 Проектирование фундаментов

11.5.1 Общие положения

11.5.1.1 Проектирование фундаментов МСП должно осуществляться на основании результатов инженерно-геологических изысканий для площадки установки и эксплуатации сооружения.

11.5.1.2 Инженерно-геологические изыскания должны проводиться в составе и объеме, отвечающим требованиям действующих нормативных документов, и должны содержать исчерпывающую информацию о инженерно-геологических условиях на площадке строительства и геолого-геоморфологических особенностях района.

В ходе проведения инженерно-геологических изысканий должна быть дана оценка изменения геологических условий на площадке установки сооружения в процессе его строительства и эксплуатации.

11.5.1.3 Результаты инженерно-геологических изысканий должны содержать расчетные значения физико-механических характеристик грунтов при действии как статических, так и динамических (в том числе циклических) нагрузок.

11.5.1.4 Расчет фундамента МСП должен выполняться по предельным состояниям согласно 7.2 на действие расчетных нагрузок в соответствии с разделом 8.

11.5.1.5 Расчет на основные предельные состояния (первая группа предельных состояний) включает в себя проверку несущей способности грунта основания, общей устойчивости сооружения, а также проверку прочности материала элементов конструкции фундамента (свай, юбок, фундаментных плит и пр.).

11.5.1.6 Предельные состояния по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа предельных состояний) рассматривают для определения допустимости осадок, перемещений, деформаций элементов фундамента и грунтового основания при действии расчетных нагрузок.

11.5.1.7 Расчет на особые предельные состояния проводят для проверки несущей способности грунта основания и несущей способности материала фундамента при действии аномальных воздействий и при аварийных ситуациях.

11.5.1.8 Расчетные схемы, применяемые для проектирования и оценок прочности фундаментов МСП, должны отображать реальные условия работы сооружения, а именно:

- последовательность возведения фундамента и сооружения;
- совместную работу сооружения, фундамента и грунтового основания;
- нелинейность свойств грунта основания;
- особенности действующих нагрузок — величины, повторяемость, характер воздействия (статический, динамический), наличие эксцентриситета приложения.

11.5.2 Свайные фундаменты

11.5.2.1 Проектирование свайных фундаментов следует выполнять в соответствии с ГОСТ Р 59995—2022 (раздел 8) с учетом положений настоящего стандарта.

11.5.2.2 Свайные фундаменты применяют для крепления к грунтовому основанию опорных конструкций МСП, где по технико-экономическим показателям и грунтовым условиям данный вид фундамента наиболее целесообразен. Как правило, для МСП применяют стальные сваи-оболочки.

11.5.2.3 Сваи МСП, как правило, погружают на глубину большую, чем та, на которую будет влиять боковая нагрузка от сваи. Эта глубина зависит от жесткости сваи и от прочности и жесткости грунта. Для проектирования свай-оболочек работающих на задавливание и на выдергивание, необходимо рассматривать осевую несущую способность сваи по грунту при действии горизонтальных нагрузок на сваи.

11.5.2.4 Расстояние между осями висячих забивных свай должно быть не менее $3D$, где D — внешний диаметр поперечного сечения сваи.

11.5.2.5 Свайный фундамент должен проектироваться совместно с опорной частью и верхним строением, если конструкция последнего вносит существенный вклад в общую жесткость сооружения.

11.5.2.6 При определении размеров свайного фундамента должны учитываться следующие факторы: диаметр, глубина заглубления свай, толщина стенки свай, тип наконечника, взаимное расположение свай и их количество, характеристики грунтового основания, характеристики опорного блока МСП, местоположение, нагрузки, прочностные характеристики материала свай, способ установки.

11.5.2.7 Расчетное заглубление свай должно быть достаточным для того, чтобы создать соответствующую способность противостоять вычисленным осевым нагрузкам вдавливания и выдергивания при применимом коэффициенте безопасности. Допускаемую несущую способность свай $[Q_d]$, кН, на задавливание или выдергивание определяют путем деления предельной несущей способности свай на задавливание/выдергивание на коэффициент надежности по ответственности сооружения γ_n

$$[Q_d] = \frac{Q_d}{\gamma_n}, \tag{11.26}$$

где Q_d — предельная несущая способность сваи по грунту, кН.

11.5.2.8 При расчете на предельное состояние по критерию пригодности к нормальной эксплуатации (вторая группа предельных состояний) производят проверку условия, в соответствии с которым величины деформаций и углов поворота свайного фундамента не должны превышать пределов эксплуатационной надежности, которые могут привести к утрате платформой возможности работы по своему назначению.

Критерий пригодности к нормальной эксплуатации для свайных фундаментов определяет по формуле

$$S \le S_{ult}, \tag{11.27}$$

где S — расчетная величина деформации сваи или свайного фундамента в целом;

S_{ult} — предельно допустимая величина деформации, устанавливаемая исходя из эксплуатационных и технологических требований, в том числе из условий обеспечения нормальной эксплуатации устанавливаемого оборудования, или устанавливаемая в задании на проектирование.

11.5.2.9 При проектировании свай МСП следует учитывать возможность образования и развития общего и местного размыва. Величину размыва следует определять, руководствуясь данными модельных испытаний или данными наблюдений за размывом грунтов оснований платформ, эксплуатирующихся в аналогичных условиях.

11.5.2.10 Необходимость проектирования дополнительных (юбочных) свай устанавливают расчетом. Направляющие дополнительных (юбочных) свай должны проектироваться в составе опорного блока, обеспечивать жесткое сопряжение с ним для передачи усилий на сваи, а также проектное положение свай. Высоту направляющих следует определять исходя из принятой конструкции сопряжения, рассчитанной на восприятие осевых и горизонтальных нагрузок, передаваемых на сваи.

11.5.2.11 Диаметры и глубины погружения основных и дополнительных (юбочных) свай могут быть различными.

11.5.2.12 При расчете свайных фундаментов на осевую нагрузку должно быть учтено взаимное влияние свай в группе, а именно, увеличение осадки свайного куста по сравнению с осадкой того же количества одиночных свай в соответствии с нижеследующими указаниями.

Учет взаимного влияния свай в группе следует производить при помощи поправки значений вертикальных перемещений z, м, на величину коэффициента просадки K, определяемого по формуле

$$K = s_i/s, \tag{11.28}$$

где s_i — осадка i-й сваи в группе с учетом взаимовлияния от соседних свай, м;

s — осадка одиночной сваи, м.

Расчет осадки одиночной висячей сваи, прорезающей слои грунта с осредненным модулем сдвига G_1, МПа, коэффициентом Пуассона ν_1, и опирающейся на грунт, характеризуемый модулем сдвига G_2 и коэффициентом Пуассона ν_2, определяют по формуле

$$s = \beta\frac{N}{G_1 l}, \tag{11.29}$$

где N — вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, МН;

l — расчетная длина сваи, м;

β — коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{1 - (\beta'/\alpha')}{\chi}, \tag{11.30}$$

где $\beta' = 0{,}17\ln(k_\nu G_1 l/G_2 D)$ — коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ($EA = \infty$);

$\alpha' = 0{,}17\ln(k_{\nu 1} l/D)$ — тот же коэффициент для случая однородного основания с характеристиками G_1 и ν_1;

D — наружный диаметр поперечного сечения сваи, м;

$\chi = EA/G_1 l^2$ — относительная жесткость сваи;

EA — жесткость ствола сваи на сжатие, МН;

λ_1 — параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола и определяемый по формуле

$$\lambda_1 = \frac{2{,}12\chi^{3/4}}{1 + 2{,}12\chi^{3/4}}, \tag{11.31}$$

k_ν, $k_{\nu 1}$ — коэффициенты, определяемые соответственно при $\nu = (\nu_1 + \nu_2)$ и при $\nu = \nu_2$ по формуле

$$k_\nu = 2{,}82 - 3{,}78\nu + 2{,}18\nu^2. \tag{11.32}$$

Расчет осадки i-й сваи в группе из n свай производят по формуле

$$s_i = s(N_i) + \sum_{j \neq i}\delta_{ij}\frac{N_j}{G_1 l}, \tag{11.33}$$

где $s(N_i)$ — осадка одиночной сваи, определяемая по формуле (11.29), м;

δ_{ij} — коэффициенты, зависящие от расстояния между i-й и j-й сваями, и определяемые по формуле

$$\delta = \begin{cases} 0{,}17 \ln \dfrac{k_V G_1 l}{2 G_2 a}, & \text{если } \dfrac{k_V G_1 l}{2 G_2 a} > 1, \\ 0, & \text{если } \dfrac{k_V G_1 l}{2 G_2 a} \le 1, \end{cases} \tag{11.34}$$

где a — расстояние между осями i-й и j-й свай, м.

11.5.2.13 При расчете свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок должно быть учтено взаимное влияние свай в группе, а именно, увеличение горизонтального перемещения свайного куста по сравнению с перемещениями того же количества одиночных свай в соответствии с нижеследующими указаниями.

Взаимное влияние следует учитывать для свай, расположенных на расстоянии менее $8D$ друг от друга (D — диаметр сваи).

Учет взаимного влияния свай в группе при действии горизонтальных нагрузок производят при помощи умножения значений бокового отпора грунта p одиночной сваи на значение коэффициента горизонтального взаимовлияния, величину которого вычисляют по формуле

$$\alpha_i = \prod_{j \ne i} \left\{ 1 - \frac{D}{r_{ij}} \left[1{,}17 + 0{,}36 \frac{x_j - x_i}{r_{ij}} - 0{,}15 \left(\frac{x_j - x_i}{r_{ij}} \right)^2 \right] \right\}, \tag{11.35}$$

где α_i — коэффициент горизонтального взаимовлияния для каждой i-й сваи группы;

r_{ij} — расстояние между взаимодействующими сваями, м;

$$r_{ij} = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2}, \tag{11.36}$$

x_i, y_i, x_j, y_j — координаты расположения центров свай соответственно по оси x и оси y. Причем, ось x совпадает с направлением действия горизонтальной силы;

$\prod$ — обозначение перемножения «элементарных» коэффициентов взаимовлияния, определенных для каждой возможной комбинации пар свай. Произведение $\prod$ берут только по тем сваям j, для которых $r_{ij} \le 1{,}6(r_{ij})_{\min}$, где $(r_{ij})_{\min}$ — минимальное расстояние от оси i-й сваи до ближайшей j-й сваи в группе.

11.5.3 Гравитационные платформы

Обеспечение устойчивости на грунте гравитационных платформ выполняют либо в соответствии с ГОСТ Р 59995—2022 (раздел 7), либо осуществляют с использованием специализированных программных комплексов.

11.6 Положения по расчету конструкций по критерию усталостной прочности

11.6.1 Критерий усталостной прочности определяет требования, направленные на предотвращение появления в процессе эксплуатации МСП опасных усталостных повреждений, обусловленных воздействием циклически изменяющихся нагрузок различной интенсивности.

11.6.2 Специфическими и наиболее влияющими на усталостную прочность и долговечность конструкций МСП источниками циклических нагрузок являются нагрузки от волн, ветра, течения и динамические нагрузки ото льда.

11.6.3 Расчет усталостной прочности должен выполняться для узлов или элементов конструкции МСП, подверженных воздействию знакопеременных нагрузок, разрушение которых может привести к нарушению нормальной эксплуатации сооружения или его гибели.

11.6.4 Расчет конструктивных элементов МСП на усталостную прочность должен вестись по критерию «безопасного повреждения», согласно которому реализация усталостного критерия ориентирована на стадию образования трещин, а не их развития.

Критерий появления трещины базируется на гипотезе линейного суммирования повреждений

$$\sum_{i=1}^{i=K} n_i / N_i \leq \eta, \tag{11.37}$$

где n_i — число циклов напряжений при i-м уровне нагружения;

N_i — число циклов до появления трещины на i-м уровне нагружения;

K — число рассматриваемых уровней нагружения;

η — предельно допустимый уровень относительной повреждаемости (см. 11.6.5).

11.6.5 Предельно допустимый уровень относительной повреждаемости рассматриваемого элемента η определяют в зависимости от степени ответственности конструктивного элемента и его доступности для инспектирования и ремонта в соответствии с выражением

$$\eta = \beta_1 \beta_2, \tag{11.38}$$

где β_1 — коэффициент, зависящий от класса конструктивного элемента;

$\beta_1 = 0{,}6$ — для специальных конструктивных элементов;

$\beta_1 = 0{,}8$ — для основных конструктивных элементов;

$\beta_1 = 1{,}0$ — для второстепенных конструктивных элементов;

β_2 — коэффициент, определяемый по таблице 11.4 в зависимости от доступности рассматриваемого элемента для инспекции и ремонта.

Таблица 11.4 — Значения коэффициента β_2

Доступ при проверке и ремонте		
Нет доступа	Плохой доступ	Хороший доступ
0,5	0,75	1,0

11.6.6 Расчет усталостной прочности, как правило, выполняют по кривым усталостной прочности, характеризующим зависимость между размахами напряжений и числом циклов нагружения. Кривые усталости основываются на данных испытаний образцов узлов и материалов. Допускается использование кривых усталостной прочности в соответствии со специализированными нормативными документами, устанавливающими требования и предоставляющими рекомендации к проектированию, изготовлению, транспортировке, установке, а также последующей ликвидации стационарных стальных морских сооружений, применяемых в нефтяной и газовой промышленности[1)], содержащими рекомендации по расчету усталостной прочности морских стальных платформ[2)], правилам РМРС [3].

11.6.7 Определение количества циклов воздействия той или иной переменной нагрузки должно выполняться с учетом:

- срока эксплуатации сооружения, либо срока службы оборудования или устройства, работа которого вызывает циклические нагрузки;
- расчетной повторяемости воздействия заданной интенсивности.

11.6.8 Определение повторяемости внешних нагрузок от воздействия окружающей среды должно определяться на основании анализа данных о долгосрочном распределении одного или нескольких гидрометеорологических параметров.

11.6.9 При оценке усталостной прочности на действие ледовых нагрузок следует учитывать статистически изменчивые факторы, влияющие на величину переменной ледовой нагрузки. К таким факторам относят:

- повторяемость направления дрейфа льда;
- толщина льда;
- скорость дрейфа;
- предел прочности льда на сжатие.

При определении количества циклов воздействия ледовых нагрузок следует учитывать не все время ледового периода, а только время подвижек ледяных полей.

[1)] См., например, ISO 19902:2020 «Petroleum and natural gas industries. Fixed steel offshore structures».

[2)] См., например, NVGL-RP-C203-2019 «Fatigue design of offshore steel structures».

11.6.10 Следует принимать во внимание возможность накопления усталостных повреждений, полученных до начала расчетного срока службы рассматриваемого элемента. Например, если элемент подвергался циклическому воздействию в результате длительной транспортировки либо в случае вторичного использования материалов и конструкций.

11.7 Требования к созданию конечно-элементных моделей

11.7.1 Общие положения

11.7.1.1 Расчет конструкции МСП методом конечных элементов состоит из следующих этапов:

- определение типа применяемых конечных элементов, степени детализации и характера расчетной модели;
- создание конечно-элементной модели конструкции и граничных условий;
- моделирование нагрузок;
- оценка корректности модели и выполнение расчета;
- анализ и представление полученных результатов.

11.7.1.2 Тип применяемых конечных элементов выбирают в зависимости от поставленной задачи расчета. Указания по выбору типа конечных элементов приведены в 11.7.3.

11.7.1.3 Характер расчетной модели — линейный или нелинейный — зависит от особенностей конструкции и величины деформаций. Если параметры напряженно-деформированного состояния конструкции определены при регламентируемых расчетных нагрузках, обычно достаточно линейного расчета, особенно в случае толстостенных конструкций. Нелинейные эффекты вызываются свойствами материала, большими деформациями и имеют существенное значение в следующих случаях:

- для относительно гибких конструкций с большими деформациями (геометрическая нелинейность);
- при исследовании частичного отказа элементов конструкции, например, потеря устойчивости плоских панелей;
- если встречаются пластические деформации в несущих конструкциях (физическая нелинейность).

Выбранные модели материала должны представлять нелинейное поведение материала для возрастающих и убывающих нагрузок, а также при циклическом нагружении за пределом пропорциональности, вызывающим малоцикловое усталостное нагружение. Модель материала должна быть калибрована относительно эмпирических данных в форме лабораторных или полномасштабных экспериментов.

11.7.1.4 При моделировании конструкции, граничных условий и нагрузки, в зависимости от целей расчета и типа конструкции, возможны и необходимы определенные допущения и упрощения. Принимаемые решения о степени детализации диктуются типом модели, возможностями программного обеспечения и доступными параметрами вычислительной техники. Степень детализации задает необходимый размер и количество конечных элементов, что, в свою очередь, определяет затраты вычислительных ресурсов.

11.7.2 Положения по определению размеров расчетной модели

11.7.2.1 В зависимости от цели расчета, рекомендуется применять расчетные модели следующих назначений:

- общая модель корпуса МСП;
- модель крупной составляющей корпуса (часть корпуса);
- модель перекрытия;
- рамная модель;
- локальные модели.

11.7.2.2 Общую модель корпуса следует использовать для определения общих напряжений в конструкции МСП. Трехмерное моделирование основных связей корпуса позволяет обеспечить приложение нагрузок в виде, наиболее приближенном к реальному, моделировать с высокой точностью поведение сложных конструкций корпуса.

11.7.2.3 Модель корпусной конструкции или крупной составляющей корпуса (обычно трехмерная модель) следует использовать для определения общих напряжений в рассматриваемой части корпуса.

11.7.2.4 Модель перекрытия следует использовать для определения общих или местных напряжений в плоских конструкциях, образованных пластинами обшивки, подкрепленными с одной или с обеих сторон ребрами жесткости и/или стенками (перекрытия типа двойного дна, переборки, палубы),

а также для расчета передачи поперечной нагрузки на опорный контур перекрытия и оценки возникающих при этом деформации и напряжений.

11.7.2.5 Рамную модель следует использовать при расчете прочности конструкций, деформируемых (главным образом, изгибаемых) в своей плоскости, например, поперечных связей подводного опорного блока МСП и др.

11.7.2.6 Локальные модели рекомендуется использовать в расчетах прочности отдельных элементов конструкции и для определения концентрации напряжений в деталях конструкций и прерывистых связей.

11.7.2.7 Для всех моделей, кроме общей модели корпуса, следует обеспечить введение граничных условий для корректного удовлетворения условиям взаимодействия со смежными конструкциями. Если есть опасение, что на результатах могут сказаться неблагоприятным образом идеализированные граничные условия, следует увеличить расстояние между границами модели и рассматриваемой областью конструкции.

11.7.3 Выбор типа конечных элементов

11.7.3.1 Тип конечного элемента, принятый при выполнении расчета прочности каждой конкретной задачи, имеет определяющее значение, поэтому при выборе конечного элемента следует руководствоваться нижеприведенными рекомендациями.

11.7.3.2 Выбранные для идеализации рассматриваемых конструкций типы конечных элементов должны отражать деформации и напряжения для анализируемых случаев нагрузки, а при необходимости, собственные значения или предельные состояния при определении величины предельной нагрузки.

11.7.3.3 Следует определить, в какой степени в данном конкретном расчете прочности должен рассматриваться изгиб компонентов конструкции. В случаях чисто изгибного поведения в соответствии с теорией изгиба балок или теорией изгиба пластины, особенно для плоских панелей, ребер жесткости, перекрытий и поперечных рам, подходят балочные элементы и элементы пластины. Если используют элементы плоского напряженного состояния или объемные элементы, то для возможности учета изгиба в плоскости наибольшей жесткости следует выбрать конечные элементы с дополнительными промежуточными узлами или применять более мелкую сетку.

11.7.3.4 Для трехмерных моделей можно ограничиться элементами плоского напряженного состояния, если определяют только общие деформации и напряжения. В этом случае учитывают только мембранную жесткость моделируемой плоской конструкции.

11.7.3.5 Учет второстепенных конструктивных связей, например, подкрепляющие пластину ребра жесткости, определяют вкладом этих связей в анализируемое напряженно-деформированное состояние.

11.7.3.6 Если изгиб связи в рассматриваемом случае важен, то следует точнее моделировать ее изгибную жесткость (например, стенку моделируют плоскими элементами, а свободный поясок — стержневым или пластинчатым элементом).

11.7.3.7 В других случаях ребра жесткости можно учитывать условно в виде дополнительной толщины пластин. Поскольку обобщенная жесткость подкрепленной пластины, в зависимости от ориентации подкрепляющих ребер жесткости, различна во взаимно ортогональных направлениях, в расчетных моделях это учитывают введением ортотропных свойств пластины приведенной толщины.

11.7.3.8 В локальных моделях все жесткостные компоненты, в том числе и вторичные, имеют существенное значение, поэтому используют конечные элементы пластины, оболочки и объемные элементы.

11.7.4 Определение размеров сетки конечных элементов

11.7.4.1 Размер сетки конечных элементов определяют характеристиками конечных элементов и выбирают из условия достаточной точности при моделировании:

- жесткостных параметров конструкции;
- типа исследуемых напряжений;
- возможных эффектов, приводящих к наступлению предельных состояний.

При выборе размеров сетки конечных элементов следует руководствоваться нижеприведенными указаниями.

11.7.4.2 Размер сетки зависит от назначения расчетной модели, типа используемых элементов и сложности конструкции.

При выборе размеров сетки конечных элементов должны учитываться геометрия конструкции, расположение и характер нагрузки, размещение опор.

11.7.4.3 Характеристики элемента и его размеры должны быть выбраны так, чтобы жесткость, результирующие деформации и напряжения корректно отражали поведение конструкции. Для плоских конечных элементов отношение размеров сторон элемента, как правило, не должно превышать трех.

11.7.4.4 Трехмерные модели конструкции в целом или части конструкции могут иметь достаточно грубую идеализацию. Это допустимо в расчетах общего напряженного состояния при условии, что изгибное поведение основных компонентов конструкции с достаточной точностью отражено выбранным типом конечного элемента. То же относится к моделям перекрытий и моделям для расчета местной прочности ребер жесткости.

11.7.4.5 Для общих моделей корпуса, при выборе минимального размера элемента, следует отталкиваться от размера шпации основного набора, принимая на длину расстояния между рамным набором 3—4 конечных элемента. По высоте стенок рамного набора следует принимать 1—2 элемента.

11.7.4.6 Для моделей крупной составляющей корпуса (части корпуса), моделей перекрытий, а также рамных моделей следует принимать минимальный размер по высоте стенки преобладающего ребра жесткости, принимая минимум три конечных элемента по высоте стенки рамных связей и два элемента по ширине пояска.

11.7.4.7 При вычислении локальных напряжений в зонах их концентрации размер сетки конечных элементов должен изменяться постепенно в соответствии с ожидаемым градиентом напряжений.

11.7.4.8 Для локальных моделей минимальный размер элемента следует принимать, отталкиваясь от минимального характерного размера в исследуемом районе (в среднем порядка 50 мм).

11.7.4.9 Для исследования усталостной долговечности размер сетки следует принимать в районе двух толщин для пластинчатых элементов.

11.7.4.10 При оценке пластичности, количество элементов должно быть достаточным для точного представления деформаций в зоне текучести.

11.7.4.11 При оценке устойчивости количество элементов должно быть достаточным для отображения форм потери устойчивости из расчета 3—6 элементов на полуволну в зависимости от типа элемента.

В зонах больших деформаций соотношение сторон элементов должно стремиться к одному.

11.7.4.12 Важным параметром для локальных моделей является проверка сеточной сходимости, так как она обеспечивает получение точных максимальных напряжений в критичных частях конструкции.

Проверка сеточной сходимости достигается путем решения задачи с последовательным уменьшением размера конечного элемента. Если уменьшение размера элемента в два раза приводит к разнице между результатами менее 1 % по деформациям и/или 5 % по напряжениям, сеточная сходимость считается достигнутой. В расчеты принимается предпоследняя конечно-элементная сетка.

Допускается изменение критериев точности, но оно должно быть обосновано.

11.7.5 Ввод упрощающих допущений

11.7.5.1 Вследствие сложности конструкции МСП при моделировании следует вводить допущения, направленные на упрощения. Упрощения допустимы, если они не приводят к искажению физического поведения конструкции и погрешности результатов решения более 5 % относительно более детальной модели или известных аналитических решений.

11.7.5.2 Типичным упрощением в расчетах общей прочности является объединение нескольких компонентов конструкции в один. Можно объединять ребра жесткости или балки. Объединенные компоненты должны обладать эквивалентной жесткостью и располагаться в геометрическом центре составляющих компонентов.

11.7.5.3 Малые компоненты и детали, которые характеризуют жесткость небольших участков, могут не учитываться при моделировании. Примером таких компонентов и деталей для расчета общей прочности являются малые вырезы, бракеты в рамах, подкрепляющие ребра жесткости, подкрепления, препятствующие потере устойчивости.

11.7.5.4 Большие вырезы (вырезы для доступа во внутренние помещения, окна и двери) всегда должны учитываться прямым включением их в модель. При крупной сетке конечных элементов, где размер конечных элементов значительно превышает размеры выреза, допускается такие вырезы учитывать путем уменьшения жесткости за счет уменьшения толщины элементов или за счет уменьшения модуля сдвига и модуля нормальной упругости в продольном и поперечном направлениях.

11.7.5.5 Плоские элементы должны располагаться в срединной поверхности соответствующих компонентов конструкции. Для анализа общей прочности тонкостенных конструкций элементы могут располагаться по линиям наружной поверхности.

11.7.5.6 Плоские двумерные элементы в наклонных или искривленных поверхностях должны, как правило, помещаться в геометрическом центре моделируемой области, чтобы с большей точностью отражать общие жесткостные характеристики.

11.7.6 Граничные условия и закрепления

11.7.6.1 Задание граничных условий и закреплений предназначено для:

- исключения перемещений и поворотов модели как жесткого целого;
- учета в расчетной модели реально существующих опор и закреплений;
- учета взаимодействия модели части конструкции по ее границам со смежными частями.

11.7.6.2 Кинематические граничные условия и закрепления вводят путем задания предписанных значений по перемещениям и углам поворота в узловых точках расчетной модели. При введении закреплений следует избегать появления в модели несуществующих в реальном поведении конструкции ограничений в перемещениях и углах поворота.

11.7.6.3 Исключение перемещений и поворотов модели как жесткого тела (большинство существующих программных комплексов, основанных на МКЭ, не обеспечивают автоматического исключения таких перемещений) следует проводить с помощью введения опор или закреплений в различных сечениях модели. Реакции в этих опорах и закреплениях, которые отсутствуют в реальных конструкциях, следует сводить к минимуму.

11.7.6.4 Реально существующие опоры, которые воспринимают силы и моменты, должны моделироваться с высокой степенью[1)] приближения к реальным условиям.

11.7.6.5 Взаимодействие частей корпусных конструкций со смежными конструкциями по границам модели должно моделироваться с возможно высокой степенью[1)] приближения к реальности. Допускается учитывать симметрию конструкции и разрабатывать модель только для симметричной ее части. По плоскостям симметрии вводят условия симметричной или антисимметричной деформации, а нагрузку раскладывают на симметричную и антисимметричную составляющие. Взаимодействие по границе должно учитываться соответствующим заданием напряжений, сил и моментов. Эти величины получают как результат расчета конструкций по общей модели.

11.7.7 Моделирование нагрузок

11.7.7.1 Способ приложения нагрузок должен корректно определять поведение конструкции с точки зрения значений рассматриваемых критериев наступления предельных состояний.

11.7.7.2 Если деформации по границе локальной модели получены из расчета по общей модели конструкции с грубой сеткой, то следует использовать соответствующую интерполяцию деформации для промежуточных узлов локальной модели.

11.7.8 Оценка достоверности результатов

11.7.8.1 Результаты следует проверить на достоверность. Такая проверка включает:

- специальное визуальное представление деформаций для оценки соответствия их распределения приложенным нагрузкам, граничным условиям, опорам и закреплениям;
- контроль принадлежности полученных значений деформаций ожидаемому диапазону.

11.7.8.2 Следует проверить, соответствуют ли величины реактивных сил и моментов на опорах ожидаемым значениям. Для случая самоуравновешенных нагрузок необходимо проверить, достаточно ли малы реактивные усилия, чтобы ими можно было бы пренебречь.

11.7.8.3 Для локальных моделей с заданными деформациями на границе, полученными из общих моделей конструкций, необходимо проверить взаимное соответствие напряжения вблизи рассматриваемых границ для двух моделей.

11.7.8.4 Для нелинейных вычислений необходимо проверить точность решения в нелинейной зоне.

11.7.8.5 Численные критерии, применяемые для оценки достоверности результатов, следует определить при проектировании МСП.

[1)] Степень приближения модели определяют при проектировании МСП.

Библиография

[1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

[2] НД № 2-020101-174 Правила классификации и постройки морских судов. Санкт-Петербург, Российский морской регистр судоходства, 2023 г.

[3] НД № 2-020201-019 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и морских стационарных платформ (МСП). Санкт-Петербург, Российский морской регистр судоходства, 2022 г.

[4] Рекомендации Р 50-54-82-88 Надежность в технике. Выбор способов и методов резервирования

[5] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

[6] Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2012 г. № 781 «Рекомендации по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах»

[7] Руководство по вертодромам (Doc 9261-AN/903) Международной организации гражданской авиации (ИКАО), Том II, издание пятое — 2020 г.

[8] ОСТ 5Р.0206-2002 Нагрузка масс гражданских и вспомогательных судов. Классификация элементов нагрузки

УДК 622.276.04:006.354 ОКС 75.180.10

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, сооружения нефтегазопромысловые морские, платформы морские стационарные стальные, обеспечение механической безопасности, проектирование

Редактор *Е.Ю. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 29.11.2023. Подписано в печать 25.12.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,35.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru