ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58283— 2018

Нефтяная и газовая промышленность

АРКТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ

Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий «Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 ноября 2018 г. № 1008-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

© Стандартинформ, оформление, 2018

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 2
3 Термины и определения . . . 2
4 Сокращения . . . 5
5 Общие положения . . . 5
6 Расчетные ситуации, обусловленные воздействием ледяного покрова . . . 7
6.1 Общие требования . . . 7
6.2 Учитываемые расчетные ситуации . . . 8
6.3 Сочетания нагрузок . . . 9
7 Исходные данные для расчета ледовых нагрузок . . . 9
7.1 Источники данных о ледовых условиях . . . 9
7.2 Необходимые данные о ледовых условиях . . . 10
8 Глобальная ледовая нагрузка . . . 12
8.1 Ледовые нагрузки на стационарные платформы . . . 12
8.2 Ледовые нагрузки на плавучие платформы . . . 13
8.3 Применение систем УЛО . . . 13
9 Локальная ледовая нагрузка . . . 13
10 Определение ледовых нагрузок на основе модельных испытаний . . . 14
10.1 Общие положения . . . 14
10.2 Масштабирование . . . 15
10.3 Методы испытаний . . . 16
Приложение А (справочное) Термины и определения общетехнических понятий, необходимые для понимания текста стандарта . . . 17
Приложение Б (справочное) Методика вероятностного расчета значений нагрузки заданной обеспеченности от воздействия дискретных ледяных образований определенного вида . . . 19
Приложение В (справочное) Правила масштабирования при проведении модельных испытаний . . . 22
Приложение Г (справочное) Основные типы морских ледостойких платформ . . . 23
Приложение Д (справочное) Краткая характеристика ледового режима морей Российской Федерации . . . 24
Библиография . . . 31

Введение

Нагрузки и воздействия, порождаемые ледяным покровом и/или отдельными ледяными образованиями (далее — ледовые нагрузки), во многих случаях являются определяющими при проектировании морских платформ, предназначенных для эксплуатации на акваториях с ледовым режимом (далее для краткости — в ледовых условиях). Ледовые условия встречаются во всех без исключения морях Российской Федерации — как в арктических, относящихся к Северному Ледовитому океану, так и в других, примыкающих к территории России на западе, востоке и даже на юге. В соответствии с географическим расположением моря России традиционно подразделяют на следующие группы: южные, северо-западные, арктические, дальневосточные (см. приложение Д). Ледовый режим имеет существенные различия в морях разных групп. Тем не менее независимо от степени суровости наблюдаемых в том или ином море ледовых условий они порождают ледовые нагрузки, которые должны быть учтены при проектировании морских платформ. В настоящем стандарте ледовые условия включают в себя наличие морского льда, как местного происхождения, так и приносного, а также возможность появления на рассматриваемой акватории айсбергов и их обломков.

В тексте стандарта словосочетание «арктические операции» применяется для краткости в обобщенном смысле, охватывая как собственно арктические моря, так и другие акватории с ледовым режимом.

Ледовые нагрузки по своей природе принципиально отличаются от других природных нагрузок, поскольку за редким исключением являются непосредственным результатом разрушения ледяного покрова в целом и/или отдельных ледяных образований при их силовом контакте с преградой. При этом процессы разрушения льда могут реализовываться посредством большого количества различных механизмов, вследствие чего ледовые нагрузки обладают высокой степенью статистической неопределенности. По этой причине использование вероятностных подходов к описанию ледовых нагрузок во многих случаях является наиболее обоснованным методом.

Объектом стандартизации в настоящем стандарте является процесс проектирования морских платформ. В стандарте устанавливаются общие характеристики процесса проектирования морских платформ в части определения ледовых нагрузок.

Целью стандарта является обеспечение достаточного уровня надежности морских платформ, предназначенных для эксплуатации в ледовых условиях, посредством корректного учета возможных ледовых нагрузок при проектировании.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

АРКТИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ

Учет ледовых нагрузок при проектировании морских платформ

Petroleum and natural gas industries. Arctic operations.
Account of ice actions in designing the offshore platforms

Дата введения — 2019—04—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на морские платформы, предназначенные для эксплуатации на морских нефтегазопромыслах в ледовых условиях, в части учета ледовых нагрузок при их проектировании и не распространяется на мобильные буровые установки.

Примечание — Мобильные буровые установки иногда в силу исторической традиции также называют мобильными буровыми платформами, что с точки зрения современной терминологии в области морской нефтегазодобычи не может считаться корректным. На морских платформах (как стационарных, так и плавучих) может также размещаться буровое оборудование. Принципиальное отличие морских платформ от мобильных буровых установок заключается в длительности периода пребывания на точке эксплуатации: первые эксплуатируются все время на одной и той же точке в течение всего периода разработки месторождения, а вторые используются на точках бурения скважин кратковременно и предназначены для многократного перемещения с точки на точку. В соответствии со сложившейся практикой мобильные буровые установки проектируются по нормам Российского морского регистра судоходства.

1.2 Стандарт устанавливает общие требования к процедуре определения нормативных и расчетных значений ледовых нагрузок при проектировании морских стационарных и плавучих платформ, предназначенных для ведения арктических операций и операций на других акваториях с ледовым режимом.

1.3 Стандарт применяют при определении нормативных и расчетных значений ледовых нагрузок на морские платформы, проектируемые для ледовых условий, а также при разработке сводов правил и СТУ, регламентирующих вопросы расчета ледовых нагрузок на отдельные виды морских платформ, предназначенных для эксплуатации на акваториях с ледовым режимом.

1.4 Положения стандарта распространяются на процедуры учета ледовых нагрузок, возникающих на этапах строительства, эксплуатации и вывода морских платформ из эксплуатации.

1.5 Положения стандарта не распространяются на операции транспортировки на плаву морских платформ или их отдельных конструктивных элементов на точку (с точки) установки в море.

1.6 Положения стандарта применяют при проектировании других морских нефтегазопромысловых сооружений, возвышающихся над поверхностью моря (например, искусственных островов), буровых мобильных установок, предназначенных для бурения поисково-разведочных и эксплуатационных нефтегазовых скважин, при надлежащем обосновании отсутствия специфических особенностей проектируемых сооружений, препятствующих применению настоящего стандарта.

1.7 В стандарте не рассматриваются вопросы абразивного воздействия движущегося ледяного покрова на конструкции морских платформ.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ ИСО 11453—2005 Статистические методы. Статистическое представление данных. Проверка гипотез и доверительные интервалы для пропорций

ГОСТ 27751—2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 54483—2011 Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования

ГОСТ Р 55311—2012 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Термины и определения

ГОСТ Р 57148—2016 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Проектирование и эксплуатация с учетом гидрометеорологических условий

ГОСТ Р 58112—2018 Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции. Управление ледовой обстановкой. Сбор гидрометеорологических данных

СП 11-114—2004 Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений

СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85*

СП 33-101—2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04—82*

СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02—96

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по 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 стандарта 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 принять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины в соответствии с ГОСТ Р 55311, ГОСТ 27751, [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **айсберг:** Массивный, отколовшийся от ледника кусок льда различной формы, выступающий над уровнем моря более чем на 5 м, который может быть на плаву или сидящим на мели.

Примечание — Айсберги по своему внешнему виду могут подразделяться на столообразные, куполообразные, наклонные, с остроконечными вершинами, окатанные или пирамидальные.

3.2 **глетчерный лед:** Лед, находящийся в леднике или ледникового происхождения, независимо от того, находится ли он на суше или плавает в море в виде айсбергов, обломков айсбергов или кусков айсбергов.

3.3 **глобальная (общая) ледовая нагрузка:** Значение ледовой нагрузки, соответствующее рассматриваемой расчетной ситуации, которое используется в критерии проектирования, применяемом к платформе в целом.

Примечание — В общем случае глобальная ледовая нагрузка представляется в виде вектора силы (с горизонтальной и вертикальной компонентами) и опрокидывающего момента. Ее значения, выражаемые соответственно в единицах силы и момента, используются для проверки несущей способности фундаментов и/или оснований морских платформ, устанавливаемых на дно, для оценки глобальных перемещений и общей прочности корпуса платформ, а также несущей способности систем удержания плавучих платформ, включая их фундаменты.

3.4 **гряда торосов:** Протяженное нагромождение битого льда, образующееся в результате сжатия ледяного покрова.

3.5 **динамическое позиционирование:** Способ автоматического обеспечения местоположения судна (или плавучего сооружения) в заданной точке с допустимыми отклонениями с помощью размещенных на нем управляющих подруливающих устройств, компенсирующих действие ветра, волн, течений и льда.

3.6 **дрейфующий (паковый) лед:** Любой вид морского льда, за исключением неподвижного, независимо от его формы и распределения.

Примечание — При высокой сплоченности (7/10 или более) термин «дрейфующий лед» может быть заменен термином «паковый лед». В прошлом термин «паковый лед» использовался для всех величин сплоченности, а также для многолетнего льда.

3.7 **киль тороса:** Часть тороса, расположенная под водой.

Примечание — Киль обычно состоит из консолидированного и неконсолидированного слоев.

3.8 **корпус морской платформы:** Опорная часть плавучей платформы.

Примечание — В некоторых случаях опорную часть стационарной морской платформы также называют корпусом. Если корпус морской платформы состоит из самостоятельных (но связанных между собой) элементов, то применимо также наименование «корпусная конструкция».

3.9 **кусок айсберга:** Кусок льда меньшего размера, чем обломок айсберга или несяк, часто прозрачный, но по цвету кажущийся зеленым или почти черным, выступающий менее чем на 1 м над поверхностью моря и занимающий площадь приблизительно 20 м^2.

3.10 **ледовая нагрузка:** Результат воздействия ледяного покрова в целом или отдельного ледяного образования, представляемый в виде внешних механических сил, моментов и/или давления.

Примечание — Ледовая нагрузка в зависимости от того, рассматривается ли платформа в целом или только некоторый ее структурный элемент (часть), подразделяется на глобальную и локальную (местную) нагрузки.

3.11 **ледяное образование:** Элемент ледяного покрова, характеризующийся набором тех или иных отличительных признаков (например, ледяное поле, гряда торосов, нагромождение льда, айсберг и др.).

3.12 **ледяное поле:** Относительно плоский кусок морского льда более 20 м в поперечнике.

Примечание — Ледяные поля подразделяются по их размерам в плане следующим образом: крупнобитый лед (от 20 до 100 м), обломки полей (от 100 до 500 м), большие поля (от 500 до 2000 м), обширные поля (от 2 до 10 км) и гигантские поля (более 10 км).

3.13 **ледяной остров:** Большой кусок плавучего льда, выступающий выше уровня моря на 5 м и более, который отломился от арктического шельфового льда, имеет толщину от 30 до 50 м и площадь от нескольких тысяч квадратных метров до 500 км^2 или более.

3.14 **ледовый режим:** Особенности и изменение во времени процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований на водных объектах.

3.15 **ледостойкая платформа:** Морская платформа, которая предназначена для эксплуатации в ледовых условиях и конструкция которой рассчитана на ледовые нагрузки.

3.16 **локальная (местная) ледовая нагрузка:** Значение ледовой нагрузки, соответствующее рассматриваемой расчетной ситуации, которое используется в критерии проектирования, применяемом к отдельному структурному элементу платформы или к некоторой ее части.

Примечание — Локальная нагрузка в типичном случае задается как давление (единица измерения — единица силы, отнесенная к единице площади) или как погонная нагрузка (единица измерения — единица силы, деленная на единицу длины); в некоторых случаях локальная нагрузка может задаваться и как сила. При задании локальной ледовой нагрузки необходимо указать границы области на корпусе платформы, в пределах которой она действует.

3.17

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

[ГОСТ Р 55311—2012, статья 2.2]

Примечание — В тексте настоящего стандарта при отсутствии опасности неправильного понимания термин используется для краткости в усеченной форме «платформа».

3.18

морское нефтегазопромысловое сооружение: Объект обустройства морского месторождения углеводородов, предназначенный для выполнения работ, связанных с освоением этого месторождения.

[ГОСТ Р 55311—2012, статья 2.1]

3.19 **несяк:** Большой кусок морского льда, включающий торос или группу смерзшихся вместе торосов, который представляет собой отдельную льдину, находящуюся на плаву.

Примечание — Несяк обычно выступает над уровнем моря на высоту до 5 м.

3.20 **обломок айсберга:** Большой кусок плавающего глетчерного льда, обычно выступающий менее чем на 5 м выше уровня моря, но более чем на 1 м, и имеющий площадь около 100—300 м^2.

3.21 **опорная часть морской платформы:** Часть морской платформы, предназначенная для восприятия и передачи (на грунт, сваи или систему удержания) воздействующих на нее нагрузок, а также для установки верхнего строения платформы.

Примечание — В случае стационарной платформы опорная часть передает действующие на нее нагрузки на фундамент (например, свайный) либо непосредственно на грунт морского дна (основание), а в случае плавучей платформы — на систему удержания.

3.22 **парус тороса:** Часть тороса, расположенная над водой.

3.23 **плавучая морская платформа (плавучая платформа):** Морская платформа, опорная часть которой находится на плаву на все время использования платформы по назначению, оснащенная системой позиционирования для ограничения ее горизонтальных смещений на точке размещения в установленных пределах.

Примечание — В качестве системы позиционирования морской плавучей платформы применяются системы якорного позиционирования, системы удержания у точечного причала швартового типа, системы динамического позиционирования и комбинированные системы позиционирования.

3.24 **примерзание:** Смерзание ледяного покрова с поверхностью сооружения.

3.25 **припай:** Морской лед, который образуется и остается неподвижным вдоль побережья, где он прикреплен к берегу, к ледяной стене, к ледяному барьеру, между отмелями или севшими на отмели айсбергами и стамухами.

3.26 **ровный лед:** Морской лед, не подвергшийся деформации.

3.27 **сплоченность:** Отношение, выраженное в десятых долях и описывающее общую площадь морской поверхности, покрытую льдом, как часть всей рассматриваемой площади.

Примечание — В отечественной практике принято оценивать сплоченность в баллах в диапазоне 0—10.

3.28 **стамуха:** Торосистое ледяное образование, севшее на мель.

3.29

стационарная морская платформа (стационарная платформа): Морская платформа, опорная часть которой зафиксирована на морском дне на все время использования платформы по назначению.

[ГОСТ Р 55311—2012, статья 2.3]

3.30 **торос:** Холмообразное нагромождение взломанного льда, образовавшееся в результате сжатия.

3.31 **торосистость льда:** Степень покрытия поверхности льда торосами всех видов, выраженная в десятых долях.

3.32 **управление ледовой обстановкой, УЛО:** Совокупность мероприятий, направленных на изменение текущей ледовой обстановки с целью снижения частоты и степени опасности ледовых воздействий.

3.33 **шельфовый лед:** Ледяной покров значительной толщины, находящийся на плаву, возвышающийся на 2 м или более над уровнем моря и скрепленный с берегом.

Примечание — Если шельфовый лед образуется в результате сползания ледника в море, то его называют шельфовым ледником.

3.34 **экстремальная характеристика:** Значение гидрометеорологического элемента, определенное на основе теоретической функции распределения экстремальных значений этого элемента для соответствующего периода повторяемости.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВМО — Всемирная метеорологическая организация;

СТУ — специальные технические условия;

ТС — технологическое судно;

УЛО — управление ледовой обстановкой.

5 Общие положения

5.1 Настоящий стандарт устанавливает основные положения и правила определения и учета ледовых нагрузок при проектировании морских платформ в ледовых условиях, указания по учету в проекте расчетных ситуаций, связанных с воздействием на платформы как ледяного покрова в целом, так и отдельных ледяных образований, правила построения сочетаний нагрузок, включающих ледовые нагрузки, для выполнения расчета морских платформ по предельным состояниям.

Примечание — В случае необходимости или целесообразности получения для проектируемой морской платформы класса Российского морского регистра судоходства учет ледовых нагрузок следует дополнительно выполнять на основе [2].

5.2 Ледовые нагрузки рассматривают как временные нагрузки — в соответствии с классификацией нагрузок по СП 20.13330.2016. В зависимости от вида расчетной ситуации ледовые нагрузки учитывают при проектировании платформ как длительные, кратковременные и особые.

5.3 При проектировании платформ учитывают все значимые расчетные ситуации, в которых предполагается воздействие ледяного покрова на платформу, принимая во внимание положения ГОСТ Р 54483. К значимым относят все расчетные ситуации, при которых характер и/или интенсивность воздействия ледяного покрова потенциально способны оказывать влияние на уровень надежности и безопасности проектируемой платформы.

5.4 В зависимости от ответной реакции платформы на воздействие ледяного покрова ледовые нагрузки подразделяют на следующие:

- статические, при действии которых допускается не учитывать динамические эффекты: ускорения корпуса морской платформы в целом и ее отдельных конструктивных элементов, а также силы инерции в них;
- динамические, вызывающие заметные ускорения строительных объектов или их отдельных конструктивных элементов и силы инерции в них.

5.5 Тип ледовой нагрузки (статический или динамический) для каждой учитываемой расчетной ситуации должен устанавливаться в зависимости от конструктивных особенностей проектируемой платформы: способа удержания на точке, жесткости опорной части платформы в целом и ее отдельных структурных элементов, прочностных характеристик корпуса морской платформы, типа фундамента или якорной системы удержания, свойств морского грунта в точке установки, а также других параметров (см. приложение Г).

5.6 Для каждой учитываемой расчетной ситуации определяют глобальную (общую) и локальную (местную) ледовые нагрузки. При этом значение глобальной нагрузки используется для проверки критериев проектирования, применяемых к корпусу платформы в целом или к системе удержания (позиционирования), а значение локальной нагрузки — для проверки критериев проектирования, применяемых к ее отдельным конструктивным элементам.

5.7 При определении ледовых нагрузок для каждой учитываемой расчетной ситуации используют такую расчетную схему сооружения и приложения нагрузки, которая позволяет с наибольшей достоверностью учитывать характер взаимодействия проектируемой платформы с ледяным покровом.

5.8 В соответствии с методом проектирования по предельным состояниям расчеты ледостойкой платформы выполняют на все расчетные сочетания нагрузок, включающие ледовую нагрузку того или иного вида, которые устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для каждой из учитываемых расчетных ситуаций. При этом для расчетных сочетаний,

в которые входит расчетное значение ледовой нагрузки того или иного вида, учитывают возможность разных схем приложения сопутствующих временных нагрузок или отсутствие некоторых из них.

Примечание — Следует учитывать, что одной расчетной ситуации может отвечать несколько различных расчетных сочетаний нагрузок. В частности, это обусловлено тем, что в общем случае схема взаимодействия конкретного ледяного образования с преградой не является однозначно определенной, и поэтому в расчетах следует учитывать все потенциально возможные механизмы разрушения льда.

5.9 Основной характеристикой ледовой нагрузки является ее нормативное значение, которое определяется на основе вероятностного подхода с учетом инженерного опыта и результатов статистической обработки данных наблюдений за нагрузками.

5.10 Нормативное значение ледовой нагрузки данного вида для каждой рассматриваемой расчетной ситуации (см. 6.2) определяют, исходя из заданной годовой вероятности превышения, которая в общем случае устанавливается на уровне $1 \cdot 10^{-2}$.

Примечание — Вышеуказанное значение используется, если в нормах проектирования морских платформ конкретного типа не оговорено другое. В задании на проектирование допускается устанавливать меньшее значение годовой вероятности превышения, но не ниже $1 \cdot 10^{-3}$.

5.11 При расчетах на некоторые предельные состояния допускается использовать доли полного нормативного значения ледовой нагрузки (пониженные значения), которые вводятся в расчет при необходимости учета влияния длительности ледового воздействия, например при проверке строительных конструкций и их элементов на выносливость, при учете изменения свойств грунтов основания при циклическом воздействии, а также в других случаях, оговоренных в нормах проектирования морских платформ, их фундаментов и оснований.

5.12 Расчетное значение ледовой нагрузки, входящей в основное сочетание нагрузок, следует определять как произведение ее нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке γ_f, соответствующий рассматриваемой расчетной ситуации и предельному состоянию. Значения γ_f следует принимать в соответствии с положениями и указаниями нормативно-технических документов по проектированию морских платформ в целом или отдельных типов платформ. При надлежащем обосновании для платформ определенных типов с этой целью могут применяться положения СП 38.13330.2012. В случае, если в документах по стандартизации в области проектирования морских платформ требования к коэффициенту надежности по нагрузке не установлены, соответствующее значение устанавливается в составе СТУ, которые должны быть разработаны в соответствии с требованиями [3].

Примечание — Для особых ледовых нагрузок, входящих в особое сочетание нагрузок, нормативные значения не определяются. Расчетные значения особых ледовых нагрузок устанавливаются в нормативных документах по проектированию различных типов морских платформ или в задании на проектирование. В типичном случае годовая вероятность превышения для особой ледовой нагрузки устанавливается на уровне $1 \cdot 10^{-4}$.

5.13 Расчетные значения ледовых нагрузок при наличии достаточного количества статистических данных определяют непосредственно по заданной вероятности их превышения. Для проведения статистического анализа используют апробированные статистические подходы.

Примечания

1 В указанных целях может использоваться СП 33-101—2003. В данном документе устанавливаются общие положения и требования к организации и порядку проведения инженерных гидрологических расчетов по определению гидрологических характеристик для сооружений, возводимых на реках, однако основные методологические принципы использования статистических подходов, включая оценку однородности рядов наблюдений, сглаживание и экстраполяцию эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, оценку параметров аналитических кривых распределения и другое, применимы и к морским условиям.

2 Недостаточное со статистической точки зрения количество исходных данных выражается обычно в широком размахе доверительных интервалов для исследуемых характеристик, что в условиях необходимости использования консервативного подхода при определении нормативных/расчетных значений нагрузок приводит в общем случае к завышенным нагрузкам на проектируемое сооружение. В такой ситуации целесообразным представляется инициирование проектировщиком по согласованию с заказчиком дополнительных инженерных изысканий (см. раздел 7) для расширения рядов наблюдений.

5.14 При расчете платформ для условий строительства в море, а также вывода из эксплуатации расчетные значения ледовых нагрузок допускается снижать с учетом длительности соответствующих работ.

Примечание — Количественный уровень снижения ледовых нагрузок должен быть обоснован с учетом особенностей ледового режима в районе проектирования и принятого проекта организации строительства, при

этом снижение не может превышать предельного значения, рекомендуемого в СП 20.13330.2016 для других климатических нагрузок.

5.15 Нормативные и/или расчетные значения ледовых нагрузок должны определяться способом, наиболее надежным для данной расчетной ситуации (или с помощью комбинирования различных способов):

а) на основе данных по ледовым нагрузкам, полученных с помощью измерений, выполненных в натурных условиях;

б) на основе численных расчетов с помощью математических моделей (далее — уравнений нагрузки), приводимых в соответствующих нормативно-технических документах по проектированию платформ различного типа, с учетом исходных данных, полученных путем статистической обработки материалов длительных рядов натурных наблюдений ледовой обстановки и результатов гидрометеорологических изысканий в предполагаемом районе расположения платформы; при этом статистическая обработка данных должна выполняться с помощью научно-обоснованных подходов, а также положений ГОСТ ИСО 11453 и стандартов, регламентирующих применение статистических методов [4] (в приложении Б приводится пример реализации соответствующего вероятностного подхода для расчетной ситуации воздействия гряд торосов);

в) на основе масштабированных соответствующим образом результатов физического моделирования в опытовых ледовых бассейнах (краткая сводка основных формул масштабирования приводится в приложении В; дополнительные рекомендации представлены в [5] и [6]);

г) на основе результатов компьютерного моделирования с использованием современных технических средств.

Примечание — Способы, указанные в перечислениях а) и г), позволяют непосредственно определять расчетные значения ледовой нагрузки при достаточном объеме данных натурных измерений (достаточность устанавливается с помощью статистических процедур); при использовании способа, указанного в перечислении б), обычно определяют нормативные значения ледовых нагрузок; при использовании способа, указанного в перечислении в), атрибут (нормативная, расчетная или другое) определяемых в экспериментах нагрузок задается в технической документации конкретного бассейна.

6 Расчетные ситуации, обусловленные воздействием ледяного покрова

6.1 Общие требования

6.1.1 Ледовые нагрузки определяют для всех значимых (учитываемых в проекте платформы) расчетных ситуаций. Перечень учитываемых расчетных ситуаций определяется особенностями ледового режима в рассматриваемом районе; конструктивными особенностями опорной части платформы, которые могут обусловливать преимущественные схемы разрушения ледяного покрова и ледяных образований; принимаемыми в проекте инженерными решениями по защите от ледовых воздействий (ледоломы и другие гидротехнические защитные сооружения, барьеры из ледяных глыб и брызгового льда и т. п.); принимаемыми в проекте специальными организационными решениями (сезонная эксплуатация платформы, концепция «отсоединяемости» для плавучих платформ — временное снятие платформы с заданной точки и отход в безопасную зону); включением в проект системы УЛО; другими организационно-техническими мероприятиями.

6.1.2 Для каждой учитываемой в проекте расчетной ситуации определяют нормативные и/или расчетные значения локальной нагрузки и глобальной ледовой нагрузки.

Примечание — Традиционно в проектировании характерные значения нагрузок (включая ледовые), а также значения определяющих их гидрометеорологических элементов (например, толщина льда или скорость дрейфа льда) описывают посредством периода повторяемости. При этом вероятности реализации того или иного случайного события (например, соответственно превышение заданного значения нагрузки от тороса, толщины ровного льда или значения скорости дрейфа льда) хотя бы один раз в течение года, равной $1 \cdot 10^{-2}$, соответствует период повторяемости 100 лет, а вероятности $1 \cdot 10^{-4}$ соответствует период повторяемости 10 000 лет (см. также приложение А).

6.1.3 Уровень снижения расчетных значений ледовой нагрузки в случае применения защитных сооружений, системы УЛО, других организационно-технических мероприятий, вследствие чего на платформу воздействует ледяной покров с измененными характеристиками (в случае УЛО используется

термин «обработанный лед»), должен быть обоснован с учетом выявленных по результатам инженерных изысканий особенностей ледовых условий в рассматриваемом районе, конструктивных решений защитных сооружений, состава и мощности применяемых средств УЛО и др.

6.2 Учитываемые расчетные ситуации

6.2.1 Перечень учитываемых расчетных ситуаций определяют на основе анализа и обобщения достоверной информации о ледовом режиме в районе планируемого размещения платформы (далее — район проектирования). Под районом проектирования понимается акватория с однозначно определенными границами, в пределах которой находится предполагаемое место размещения морской платформы и который характеризуется однородными ледовыми условиями.

Примечание — Выбранный район может не являться однородным с точки зрения других природных условий, например ветрового волнения в безледный период, батиметрии, свойств грунтов и др.

6.2.2 Перечень учитываемых при проектировании расчетных ситуаций должен отражать все типы ледовой обстановки, которые физически возможны в районе проектирования и вероятность реализации которых в течение одного произвольно выбранного года не ниже $1 \cdot 10^{-4}$, то есть период повторяемости которых не превышает 10 000 лет. При этом согласно 5.3 учитывают только те из них, которые являются потенциально опасными при эксплуатации проектируемой платформы.

6.2.3 При определении нормативных ледовых нагрузок учитывают расчетные ситуации с периодом повторяемости не более 100 лет.

6.2.4 В случае возможности реализации потенциально опасных ледовых явлений и событий редкой повторяемости (период повторяемости более 100 лет), имеющих малоизученную природу и ограниченный объем наблюдений (или полное отсутствие таковых), в проекте учитывают соответствующий тип ледовой обстановки с периодом повторяемости до 10 000 лет; при этом соответствующие нагрузки нужно рассматривать как особые.

6.2.5 Допускается учитывать в проекте расчетные ситуации с типом ледовой обстановки, вероятность реализации которой находится в интервале от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-4}$, если нагрузка на платформу от воздействия ледяного покрова или ледяного образования, соответствующих данному типу ледовой обстановки, характеризуется высокой интенсивностью и значительной неопределенностью.

6.2.6 Расчетные ситуации, характеризуемые типом ледовой обстановки, вероятность реализации которой в рассматриваемом районе в течение одного года меньше $1 \cdot 10^{-5}$, не должны учитываться в проекте.

6.2.7 В общем случае учитываемые при проектировании расчетные ситуации должны отражать большую совокупность факторов, характеризующих ледяной покров и оказывающих влияние на характер воздействия плавучего льда на проектируемую платформу, включая следующие:

а) физико-механические характеристики льда (плотность, соленость, пористость, теплофизические свойства, прочность при различных видах деформаций и др.);

б) морфометрические характеристики льда (геометрические размеры, форма рельефа верхней и нижней частей ледяного образования и др.);

в) возрастные характеристики льда (нилас, молодой лед, одно-/двух-/многолетний лед и др.);

г) вид плавучего льда по степени подвижности:

- неподвижный (припай, стамуха, лед, севший на мель, и др. — с учетом возможности внезапных подвижек);
- дрейфующий (с учетом максимальной ожидаемой скорости дрейфа);

д) формы плавучего льда (ледяное поле, битый лед и др.);

е) сплоченность дрейфующего льда (сплошной лед, очень сплоченный лед, сплоченный лед, разреженный лед, редкий лед, отдельные льдины и др.);

ж) площадные параметры элементов ледяного покрова и ледяных образований;

з) характеристики поверхности ледяного покрова:

- ровный лед;
- деформированный лед (наслоенный, лед с чередующимися грядами, торосистый, поля сморози и др.);

и) степень разрушения в процессе таяния;

к) механизм разрушения ледяного образования при воздействии на платформу (смятие, дробление, изгиб, потеря устойчивости, трещинообразование, нагромождение и др.);

л) сценарий взаимодействия ледяного покрова с платформой (удар, навал, образование нагромождения, смерзание и др.)

и другие (дополнительная информация по описанию ледяного покрова и ледяных образований содержится в [1]).

6.2.8 Каждую расчетную ситуацию охарактеризуют расчетными и/или номинальными значениями определяющих параметров соответствующих ледяных образований.

6.3 Сочетания нагрузок

6.3.1 Сочетания нагрузок устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для рассматриваемой расчетной ситуации с учетом возможности различного приложения временных нагрузок или при отсутствии некоторых из нагрузок.

6.3.2 Для каждого конкретного сочетания нагрузок расчетное значение ледовой нагрузки должно входить в учитываемый состав нагрузок с коэффициентом сочетаний, определяемым в соответствии с СП 20.13330.2016, а также нормативно-техническими документами в области проектирования отдельных типов морских платформ. В случае, если в документах по стандартизации в области проектирования морских платформ требования к значениям коэффициентов сочетаний нагрузок не установлены, соответствующие значения устанавливаются в составе СТУ, которые разработаны в соответствии с требованиями [3].

6.3.3 В общем случае ледовую нагрузку в сочетаниях нагрузок рассматривают как кратковременную.

6.3.4 Ледовую нагрузку в сочетании нагрузок рассматривают как длительную при использовании для нее пониженных значений в соответствии с 5.10.

6.3.5 Ледовую нагрузку в сочетании нагрузок рассматривают как особую, если ее расчетное значение определяется:

- для расчетной ситуации с периодом повторяемости более 100 лет;
- для расчетной ситуации с периодом повторяемости менее 100 лет, но для уровня превышения 10^{-4}—10^{-3} в течение года.

6.3.6 Ледовые нагрузки учитывают в основных и особых сочетаниях со следующими постоянными и временными нагрузками:

- собственный вес конструкций, расходуемых материалов;
- вес балласта различного вида, включая хранимые жидкие углеводороды;
- ветровые нагрузки;
- гидростатическое давление воды;
- нагрузки от течений;
- волновые нагрузки (при низких значениях сплоченности льда);
- сейсмические нагрузки (в особом сочетании нагрузок, когда в качестве особой принята сейсмическая нагрузка);
- нагрузки от навала судов;
- температурные воздействия (в частности, нагрузки от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении);
- нагрузки, обусловленные осадками грунта,
- гололедные нагрузки от атмосферного и брызгового обледенения сооружений;
- воздействия, обусловленные приливно-отливными явлениями (в частности, нагрузка от примерзшего к сооружению ледяного покрова при изменении уровня моря),

и, возможно, другие.

7 Исходные данные для расчета ледовых нагрузок

7.1 Источники данных о ледовых условиях

7.1.1 Основным источником исходных данных по гидрометеорологическим характеристикам, включая оперативные и экстремальные характеристики, необходимых для определения нормативных и/или расчетных значений ледовых нагрузок на проектируемую платформу, должны служить данные статистической обработки материалов длительных рядов натурных наблюдений ледовой обстановки и инженерно-гидрометеорологических изысканий, выполняемых в районе проектирования в соответствии с ГОСТ Р 57148, ГОСТ Р 58112—2018, СП 11-114—2004, СП 33-101—2003, СП 47.13330.2016 и другими нормативными техническими документами по стандартизации, касающимися вопросов исследования ледового режима.

Примечание — В отечественной практике изучение ледового режима относится к области гидрологических исследований. С целью выделения аспектов изучения собственно ледового режима акватории, где находится район проектирования, в настоящем документе под гидрологическими исследованиями будут пониматься те из них, которые не относятся непосредственно к ледяному покрову и его элементам.

7.1.2 Результаты инженерно-гидрометеорологических изысканий и специализированных ледотехнических исследований на прилегающих акваториях, а также результаты экспериментальных исследований, выполненных по специальным программам, также должны использоваться для расширения состава исходных данных.

7.1.3 В качестве дополнительных источников информации о гидрометеорологическом и ледовом режимах моря для района проектирования используют справочники, монографии, морские гидрометеорологические ежегодники, ежемесячники, атласы, таблицы приливов, гидрометеорологические карты, лоции и другие документы организаций, проводивших в данном районе гидрометеорологические и ледовые наблюдения или выполнявших соответствующие расчеты.

7.1.4 Для расширения знаний об особенностях ледового режима, если это возможно, используют информацию, собираемую в процессе выполнения попутных судовых метеорологических и ледовых наблюдений в районе проектирования.

7.1.5 Средства спутникового мониторинга состояния ледяного покрова, позволяющие получать с помощью технических средств пассивного и активного зондирования космоснимки различного пространственного разрешения, должны использоваться в настоящее время как один из наиболее эффективных источников дополнительной информации о ледовом режиме в районе проектирования.

7.2 Необходимые данные о ледовых условиях

7.2.1 Совокупность исходных данных о ледовых условиях должна обеспечивать возможность определения нормативных (расчетных) значений ледовых нагрузок с заданным уровнем обеспеченности для всех учитываемых при проектировании морской платформы расчетных ситуаций.

7.2.2 Используемые в проекте морской платформы исходные данные о ледовых условиях должны корректно отражать все особенности ледового режима в районе проектирования.

7.2.3 Информация о ледовых условиях района проектирования, на основе которой будут определяться расчетные значения ледовых нагрузок, должна включать все доступные данные наблюдений как в исходном виде, так и в форме климатических данных. Соответствующая информация должна включать в себя данные о ледовом режиме, характеристики припая, характеристики дрейфующего ровного и деформированного льда, характеристики айсбергов (при их наличии в исследуемом районе), метеорологические и гидрологические характеристики, влияющие на ледовые нагрузки. При сборе данных должны учитываться положения и требования в соответствии с ГОСТ Р 57148, ГОСТ Р 58112—2018, СП 47.13330.2016, а также [1].

Примечание — Во многих случаях в район проектирования может попадать дрейфующий лед, образовавшийся за его пределами, в достаточно удаленных районах. Соответствующие данные, которые могут существенно влиять на определение расчетных ледовых нагрузок, также следует включать в состав исходных данных о ледовых условиях.

7.2.4 Характеристики ледового режима в общем случае включают данные о средней, ранней и поздней дате его фаз:

- первое появление льда на акватории;
- начало устойчивого ледообразования;
- первое образование припая;
- начало устойчивого образования припая;
- начало весеннего взлома или первой весенней подвижки припая (первый взлом припая);
- окончательное разрушение припая (исчезновения припая);
- окончательное очищение акватории ото льдов.

7.2.5 Информация о припае должна содержать следующие данные:

- толщина припая;
- положение кромки (границы) припая, включая положение при максимальном развитии припая;
- информация о случаях образования разводий в припае и о подвижках и/или отрыве припайного льда в исследуемом районе;
- информация о торосистости припая.

7.2.6 Информация о дрейфующем льде должна содержать следующие данные:

- положение кромки (границы) льда;
- сплоченность льда;
- наличие разводий и полыней, средние и максимальные значения ширины и протяженности;
- размеры в плане дрейфующих ледяных полей;
- торосистость дрейфующих ледяных полей;
- размеры в плане торосов и/или гряд торосов на дрейфующих ледяных полях;
- сжатия и разрежения во льдах;
- возможность наличия айсбергов;
- возрастной состав льда дрейфующих ледяных полей;
- средняя и максимальная среднесуточная скорость дрейфа для всех наблюдавшихся градаций ледяных полей по размерам;
- максимальная скорость дрейфа больших, обширных и гигантских ледяных полей;
- генеральное направление дрейфа ледяных полей;
- наличие торосов и/или гряд торосов на дрейфующих ледяных полях.

7.2.7 Информация о торосистых образованиях должна содержать следующие данные:

- форма поперечного сечения киля тороса;
- осадка и ширина киля тороса;
- крупномасштабная пористость киля тороса;
- эффективное (удельное) сцепление обломков льда, формирующих киль;
- угол внутреннего трения обломков льда, формирующих киль;
- толщина консолидированного слоя;
- размеры консолидированного слоя в плане;
- форма поперечного сечения паруса тороса;
- высота и ширина паруса тороса;
- крупномасштабная пористость паруса тороса;
- размеры обломков, формирующих парус тороса;
- эффективное (удельное) сцепление обломков, формирующих парус тороса;
- угол внутреннего трения обломков, формирующих парус тороса.

7.2.8 Информация об айсбергах (обломках айсбергов) должна содержать следующие данные:

- частота (по сезонам) появления айсбергов той или иной формы: столообразный, куполообразный, пирамидальный, разрушающийся и др.;
- средний и максимальный объем надводной части;
- геометрические размеры подводной части;
- средняя и максимальная масса айсберга;
- синоптические и гидрологические условия, наблюдавшиеся при дрейфе айсбергов на исследуемой акватории;
- наличие ровного дрейфующего льда, обрамляющего дрейфующий айсберг или имеющего вмороженные обломки или куски айсберга.

7.2.9 Информация о физико-механических характеристиках льда должна содержать следующие данные.

- температура, соленость и плотность льда;
- прочность льда при одноосном сжатии и растяжении;
- модуль упругости льда при одноосном сжатии;
- прочность льда при изгибе.

7.2.10 Метеорологические и гидрологические характеристики в общем случае должны включать следующую информацию для ледового периода:

- температура воздуха;
- ветер;
- синоптические ситуации;
- температура и соленость воды;
- батиметрия;
- уровень моря;
- течения;
- температура, соленость и плотность льда;
- ветровое волнение и волны зыби.

8 Глобальная ледовая нагрузка

8.1 Ледовые нагрузки на стационарные платформы

8.1.1 Ледовые нагрузки на стационарные платформы в общем случае рассматривают как статические.

8.1.2 Ледовые нагрузки рассматриваются как динамические в случае значительной податливости опорной конструкции и/или фундамента, когда невозможно исключить влияние динамических факторов системы «разрушающийся лед — корпус платформы» на нагрузочные эффекты в конструктивных элементах опорной конструкции и фундамента; при этом необходимо выполнять динамический расчет платформы на ледовые нагрузки, задаваемые как функции времени.

8.1.3 При определении характера ледовых нагрузок на стационарную платформу в расчетных ситуациях с протяженными ледяными полями учитывают возможность реализации режима вибраций сооружения, при котором график ледовой нагрузки имеет форму периодической функции от времени — автоколебательный режим. При этом необходимо также оценивать возможность увеличения интенсивности ледовых нагрузок вследствие возможной синхронизации частоты процесса разрушения льда в контактной зоне и собственной частоты колебаний сооружения.

Примечание — Вопрос об условиях возникновения автоколебаний при воздействии ледяного покрова не может считаться полностью решенным. Некоторые рекомендации по данному вопросу приводятся в международных стандартах по проектированию арктических сооружений [5], [6]. В частности, предполагается, что автоколебания преимущественно могут возникать в расчетной ситуации, когда ледяной покров, дрейфующий с умеренной скоростью от 0,04 до 0,1 м/с, непрерывно воздействует на сооружение с вертикальными или близкими к вертикальным гранями.

8.1.4 Ледовые нагрузки определяют в соответствии с указаниями и положениями нормативно-технических документов в области проектирования морских платформ на основе исходных данных для каждой учитываемой расчетной ситуации. При расчете ледовых нагрузок следует рассмотреть все физически возможные расчетные ситуации в соответствии с 6.2. При надлежащем обосновании для платформ определенных типов с этой целью могут применяться положения СП 38.13330.2012. В случае, если в документах по стандартизации в области проектирования морских платформ указания и положения по определению ледовых нагрузок не установлены, соответствующие указания и положения устанавливаются в составе СТУ, которые должны быть разработаны в соответствии с требованиями [3].

8.1.5 Для акваторий с небольшими колебаниями уровня моря в зимний период, когда невозможно с учетом ожидаемой толщины ледяного покрова обосновать неизбежное образование приливной трещины около корпуса платформы, необходимо учитывать возможность смерзания льда с корпусом платформы, что может существенно увеличивать ледовую нагрузку.

Примечание — Вероятность смерзания ледяного покрова с корпусом платформы существенно выше для зоны припая и для акваторий с невысокими скоростями дрейфа льда.

8.1.6 При размещении морской платформы в зоне припая следует рассмотреть расчетные ситуации взлома припая и его отрыва.

8.1.7 При проектировании платформ, размещаемых на мелководье, необходимо учитывать возможность образования перед корпусом платформы нагромождений битого льда, как находящихся на плаву, так и опирающихся на дно.

Примечание — Нагромождения битого льда могут как повышать нагрузку — вследствие увеличения эффективной ширины преграды, так и снижать ее — в случае, когда нагромождение льда достигает дна и передает на него часть ледовой нагрузки.

8.1.8 При проектировании платформы с опорной частью в виде многоколонной конструкции учитывают возможность формирования неподвижного массива льда в пространстве между колоннами, что может привести к существенному увеличению ледовой нагрузки.

8.1.9 Если корпус платформы не является осесимметричным или близким к такому, то в число расчетных сценариев включают случаи подхода дрейфующего льда к платформе с разных сторон с целью определения направления подхода с наибольшей нагрузкой.

Примечание — Необходимо учитывать, что при разных направлениях дрейфа льда относительно платформы ледовая нагрузка может определяться различными механизмами разрушения льда.

8.2 Ледовые нагрузки на плавучие платформы

8.2.1 Ледовые нагрузки на плавучие платформы рассматривают как динамические.

Примечание — Допускается рассчитывать ледовую нагрузку на плавучую платформу как статическую в расчетных ситуациях, описывающих стационарное состояние системы «платформа — якорная система». При этом необходимо учитывать, что изменения скорости и направления дрейфа вызывают динамический характер последующего взаимодействия льда с корпусом платформы.

8.2.2 При формировании перечня учитываемых в проекте расчетных ситуаций необходимо учитывать, что при разных направлениях дрейфа льда относительно платформы ледовая нагрузка может определяться различными механизмами разрушения льда.

8.2.3 Необходимо иметь в виду, что при проектировании плавучей платформы мгновенное значение глобальной ледовой нагрузки не совпадает вследствие динамического характера движения корпуса платформы со значением удерживающей силы, расчетное значение которой определяет параметры проектирования якорной системы удержания. Глобальная ледовая нагрузка на корпус платформы в общем случае может иметь различные значения и направления при различной ориентации корпуса относительно текущего направления дрейфа льда, что должно быть учтено в расчетах.

Примечание — Нормативное значение удерживающей силы допускается принимать равным максимальному значению, полученному в результате динамического расчета системы «корпус — якорная система» при заданной переменной ледовой нагрузке, соответствующей рассматриваемому расчетному случаю, имеющему период повторяемости 100 лет, если в нормах на проектирование плавучих платформ не указано другое.

8.2.4 В общем случае ледовая нагрузка на плавучую платформу зависит как от факторов, определяющих ее в случае стационарной платформы, так и от других: массы платформы, жесткости якорной системы, гидродинамического сопротивления корпуса, характера дрейфа льда и изменчивости его характеристик, интенсивности процессов сжатия льда.

8.2.5 При определении ледовой нагрузки на плавучую платформу с корпусом судовой формы (ТС) с турельной системой удержания необходимо учитывать, что динамические эффекты характеризуются большей интенсивностью вследствие явления «флюгирования» — пассивного разворота ТС «на месте» под действием дрейфующего льда.

8.3 Применение систем УЛО

8.3.1 Возможное снижение нормативных (расчетных) значений ледовых нагрузок, соответствующих некоторым расчетным ситуациям, вследствие применения УЛО, по сравнению со случаем отсутствия УЛО, должно быть обосновано изменением интенсивности и частоты ледовых воздействий для соответствующих сценариев.

Примечание — Система УЛО может использоваться для изменения ледовой обстановки в районе расположения морской платформы путем уменьшения размеров ледяных полей, разрушения потенциально опасных ледяных образований, изменения траекторий дрейфа айсбергов и их обломков, а также посредством локального снижения сплоченности льда. При этом в составе проектной документации должно быть представлено качественное и количественное обоснование достаточности состава и мощности привлекаемого флота УЛО для эффективного воздействия на ледовую обстановку и ледяные образования, которые соответствовали бы расчетному уровню ледовой нагрузки (как не особой, так и особой) в случае отсутствия системы УЛО.

8.3.2 Результатом применения системы УЛО может быть изменение расчетной истории нагружения со стороны ледяного покрова, используемой для расчетов на выносливость, но при сохранении нормативных и расчетных значений ледовой нагрузки на том же уровне.

Примечание — Такая ситуация будет иметь место, если средств применяемой системы УЛО недостаточно для воздействия на экстремальные ледяные образования, определяющие расчетную нагрузку (например, особую в особом сочетании нагрузок), но при этом они могут эффективно воздействовать на ледяные образования, имеющие меньшие размеры и прочность и поэтому встречающиеся чаще.

9 Локальная ледовая нагрузка

9.1 Расчет локальных ледовых нагрузок (далее — локальная нагрузка) следует выполнять на основе данных соответствующих полномасштабных измерений и/или апробированных теоретико-расчетных методов.

Примечание — В общем случае модельные испытания в опытовом ледовом бассейне не могут быть применены для определения расчетных значений локальных нагрузок.

9.2 Локальную нагрузку необходимо определять с учетом различного характера взаимодействия льда с платформой в различных зонах корпуса платформы. Особое внимание следует обращать на зоны локальных особенностей поверхности корпуса, к которым, в частности, относятся изломы поверхности корпуса, угловые элементы, зоны конструктивных разрывов, выступающие части и др.

9.3 Расчетные значения локальной нагрузки необходимо определять отдельно для каждого типа ледяных образований, которые потенциально могут воздействовать на платформу. Различные части деформированного льда порождают различный уровень локальных нагрузок. Одним из характерных примеров служит торос: локальные нагрузки от воздействия консолидированного слоя могут существенно превышать нагрузки от киля.

9.4 Размеры площадок, для которых определяются соответствующие локальные нагрузки, следует выбирать с учетом обеспечения расчетных условий для листов обшивки, элементов жесткости, труб и других несущих нагрузку элементов. Необходимо учитывать, что площадкам одинаковой площади и конфигурации, но расположенным в разных зонах поверхности корпуса, могут соответствовать локальные нагрузки разной интенсивности.

9.5 В случае морской плавучей платформы следует учитывать фактор возможного увеличения относительной скорости ледяного покрова по отношению к корпусу платформы вследствие собственного движения плавучей платформы.

Примечание — Указанный фактор может оказаться особенно существенным для плавучих технологических платформ судовой формы при совершении активного (за счет работы движителей) или пассивного (только вследствие воздействия дрейфующего льда) разворота «на месте».

9.6 При расчетах локальной нагрузки необходимо учитывать сценарий «метания», при котором в условиях сильного волнения изолированные льдины/ледяные образования определенных размеров могут приобретать значительную скорость и обладать высокой кинетической энергией при соударении с корпусом платформы.

9.7 Расчетные значения локальной ледовой нагрузки, соответствующие рассматриваемой расчетной ситуации, в общем случае не следует использовать для определения расчетной глобальной нагрузки, поскольку это может привести к существенному завышению расчетной глобальной ледовой нагрузки. И наоборот, усредненное давление разрушающегося льда, найденное по значению глобальной нагрузки, недопустимо использовать в качестве локальной нагрузки, поскольку это приводит к существенному занижению последней.

9.8 При выполнении расчетов на локальные нагрузки необходимо учитывать нагрузочные эффекты от глобальной нагрузки на смежных элементах или участках корпуса платформы.

9.9 Следует учитывать, что локальные ледовые нагрузки используются не только в расчетах на предельную прочность конструкций ледового пояса, но также и в расчетах на усталостную прочность, поэтому наряду с расчетными значениями локальной нагрузки определяют и расчетную историю нагружения, задаваемую в виде зависимости интенсивности локальной нагрузки от времени для учитываемых расчетных ситуаций.

9.10 Необходимо принимать во внимание, что в случае возможности реализации сценария примерзания льда к корпусу платформы уровень локальных нагрузок может существенно отличаться от значений, соответствующих сценариям воздействия дрейфующего льда.

10 Определение ледовых нагрузок на основе модельных испытаний

10.1 Общие положения

10.1.1 В случае, когда использование математических моделей и компьютерного моделирования для определения ледовых нагрузок приводит к заведомо консервативным результатам, целесообразным является проведение модельных испытаний в опытовом ледовом бассейне. Если ведущий механизм разрушения ледяного образования или ледяного покрова при воздействии на проектируемую платформу однозначно определен (на основе теоретических исследований или натурных наблюдений), то результаты модельных испытаний потенциально способствуют получению более точных нормативных (расчетных) значений нагрузок.

В любом случае при проведении модельных испытаний значения ледовых нагрузок, принимаемые в проекте для каждого рассматриваемого сценария воздействия льда на сооружение, определяются путем совместного анализа значений нагрузок, получаемых как в результате испытаний, так и на основе других данных о взаимодействия льда и сооружения.

Примечание — В случае, если сценарий взаимодействия ледяного покрова с сооружением, включая механизм разрушения льда, заранее неизвестен или обладает значительной вариативностью, значения нагрузки, получаемые в модельных испытаниях, не могут рассматриваться как достаточно надежные, поскольку существующие в настоящее время типы моделированного льда не обеспечивают в полной мере идентичность механизмов разрушения натурного и моделированного льда.

10.1.2 На этапе планирования модельных испытаний разрабатывают программу испытаний, в которой формулируют цели и задачи моделирования, описывают методику проведения испытаний, обосновывают параметры масштабирования и расчетные соотношения, применяемые для пересчета результатов модельных испытаний на натурные условия.

Примечание — Как правило, ледовые модельные испытания проводятся для оценки общих ледовых нагрузок на сооружение, порождаемых воздействием дрейфующего льда, и не применяются для изучения локальных воздействий льда.

10.1.3 При планировании модельных испытаний принимают во внимание, что не все проблемы взаимодействия ледяного покрова или конкретных ледяных образований с морскими сооружениями могут быть достоверно изучены при помощи современных методов физического моделирования. Поэтому перед принятием решения о проведении ледовых модельных испытаний необходимо на этапе предварительного анализа ледовых условий и параметров стендовой установки получить подтверждение оценки того, что изучаемая проблема может быть корректно исследована с помощью предлагаемой методики моделирования в данном ледовом бассейне.

Примечание — В разных ледовых бассейнах применяются разные технологии изготовления моделированного льда и разные методики моделирования, что должно быть принято во внимание при планировании модельных испытаний и разработке программы испытаний в конкретном ледовом бассейне.

10.2 Масштабирование

10.2.1 Параметры модели сооружения, морфометрические параметры и физико-механические характеристики модельного льда, кинематические параметры (далее — параметры моделирования) масштабируют в соответствии со значениями параметров, ожидаемыми в натурных условиях, применительно к которым осуществляется проектирование сооружения. Параметры моделирования масштабируют в соответствии с положениями теории подобия с максимально возможной точностью.

Примечание — Базовым параметром моделирования является масштаб моделирования (коэффициент геометрического подобия натурного объекта и его масштабной модели), на основе которого с помощью критериев подобия могут быть определены формулы масштабирования для всех (или части) параметров моделирования (см. приложение В).

10.2.2 При испытаниях моделей плавучих сооружений необходимо дополнительно обосновать корректность масштабирования характеристик системы позиционирования, в том числе жесткость якорных линий, тяги движителей и др.

10.2.3 Если способ пересчета результатов моделирования на натурные условия имеет отклонения от требований теории подобия, способ пересчета должен быть надлежащим образом обоснован.

10.2.4 В случае, если полное моделирование рассматриваемой расчетной ситуации воздействия ледяного покрова на платформу невозможно, в первую очередь необходимо наиболее точно моделировать те механические свойства льда, которые являются определяющими для процесса разрушения ледяного покрова или конкретного ледяного образования при его взаимодействии с рассматриваемым сооружением.

10.2.5 При выборе масштаба моделирования необходимо учитывать следующие факторы:

- габариты опытового ледового бассейна;
- тип и свойства моделированного льда;
- геометрические размеры модели;
- особенности исследуемых процессов;
- значимость динамических эффектов

и другие.

10.2.6 При построении формул пересчета результатов моделирования на натурные условия выполняют оценку ожидаемых погрешностей, порождаемых эффектами масштабирования, и обосновывают оптимальность используемых формул.

10.3 Методы испытаний

10.3.1 При выборе методов проведения модельных испытаний изучают особенности схемы испытаний, характерные для конкретного бассейна, оценивают их потенциальное воздействие на результаты моделирования и обосновывают корректность используемого метода моделирования с точки зрения влияния указанных особенностей на результаты испытаний. В частности, принимают во внимание следующие факторы:

- граничные условия для ледяного покрова;
- тип ледяного покрова и ледяных образований, исследуемых в испытаниях;
- морфометрические параметры ледяного покрова и ледяных образований;
- гидродинамические эффекты;
- эффекты, обусловленные возможным отличием результатов испытаний при проведении экспериментов по исследованию взаимодействия льда с моделью в режиме прямого или обращенного движения.

Примечание — Режимом прямого движения называется схема испытания, при которой моделированное ледяное поле (или ледяное образование) надвигается на стационарно (жестко или упруго) закрепленную модель, а режимом обратного движения — когда модель буксируется через неподвижный лед.

10.3.2 Методы испытания должны предусматривать измерение параметров моделированного ледяного покрова и ледяных образований. Указанные параметры, а также условия проведения испытаний фиксируют в журнале испытаний на всех этапах проведения испытаний — до, во время и после их завершения.

10.3.3 Применяемый метод испытания должен обладать свойством воспроизводимости.

10.3.4 Используемое при проведении испытаний экспериментальное и технологическое оборудование, а также структура и состав измерительно-регистрационного комплекса должны обеспечивать измерение и регистрацию необходимых величин с требуемой точностью и в достаточном для последующего анализа объеме во всем рабочем диапазоне изменения параметров моделируемых процессов.

10.3.5 Используемое экспериментальное и технологическое оборудование, а также измерительно-регистрационная аппаратура не должны искажать реализуемые механизмы разрушения льда и его воздействия на модель морской платформы.

Приложение А
(справочное)

Термины и определения общетехнических понятий, необходимые для понимания текста стандарта

А.1 **воздействие** (impact): Нагрузки, изменения температуры, влияние на строительный объект окружающей среды, действие ветра, осадка оснований, смещение опор, деградация свойств материалов во времени и другие эффекты, вызывающие изменения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций.

Примечание — При проведении расчетов воздействие допускается задавать как эквивалентную нагрузку.

А.2 **вывод из эксплуатации** (decommissioning): Мероприятия по ликвидации платформы после завершения разработки месторождения, включающие: прекращение добычи, ликвидацию скважин, демонтаж всего технологического оборудования, трубопроводов, конструкций верхнего строения и опорной части.

А.3 **гидрометеорологическая информация** (hydro-meteorological data): Сведения (данные), полученные в результате гидрометеорологических наблюдений.

А.4 **динамическое воздействие** (dynamic action): Воздействие, которое вызывает достаточно большое ускорение сооружения в целом или его отдельных конструктивных элементов, что приводит к необходимости выполнения динамического расчета.

А.5 **коэффициент надежности по нагрузке** (action factor): Коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации сооружений возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от нормативных значений.

А.6 **коэффициент сочетаний нагрузок** (combination factor): Коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений.

А.7 **нагрузка** (action): Механическая сила, прилагаемая к строительным конструкциям и/или основанию здания или сооружения и определяющая их напряженно-деформированное состояние.

А.8 **нагрузки длительные** (long-duration variable actions): Нагрузки, изменения расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо малы по сравнению с их средними значениями.

А.9 **нагрузки кратковременные** (short-duration variable actions): Нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы сооружения.

А.10 **нагрузки особые** (abnormal and/or accidental actions): Нагрузки и воздействия (порождаемые, например взрывом, столкновением с транспортными средствами, аварией оборудования, пожаром, землетрясением, отказами работы несущего элемента конструкций, воздействием экстремальных природных факторов и др.), создающие аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями.

А.11 **нагрузочный эффект** (action effect): Усилия, напряжения, перемещения, деформации в элементах строительных конструкций, вызванные силовыми воздействиями.

А.12 **номинальное значение** (nominal value): Значение, присваиваемое (назначаемое) базовой переменной, которое определяется на основе эксперимента или физических условий.

А.13 **нормативное значение нагрузки** (characteristic value of action): Основная базовая характеристика нагрузки, устанавливаемая соответствующими нормами проектирования, техническими условиями или заданием на проектирование.

А.14 **обеспеченность** (exceedance level): Применительно к нагрузкам — вероятность реализации значения переменной случайной величины, характеризующей нагрузку данного вида, которое превышает некоторое заданное значение.

А.15 **основание** (base): Массив грунта, воспринимающий нагрузки и воздействия от здания или сооружения и передающий на здание или сооружение воздействия от природных и техногенных процессов, происходящих в массиве грунта.

Примечание — Некорректным является использование словосочетания «опорное основание платформы», которое иногда встречается в научно-технической литературе в значении «опорная часть платформы».

А.16 **период повторяемости** (return period): Среднее значение промежутка времени между моментами наступления рассматриваемого случайного события.

Примечание — Применительно к значениям гидрометеорологических элементов (например, скорость дрейфа, толщина льда) период повторяемости обычно измеряется в годах. Часто повторяемость описывают терминологическим сочетанием «один раз в N лет», где N — натуральное число, равное периоду повторяемости. В качестве случайного события здесь обычно принимается превышение некоторого заданного значения, поэтому, например, выражение «ледовая нагрузка повторяемостью один раз в 100 лет равна 20 МН» равносильно утверж-

дению, что средний интервал времени между событиями, когда ледовая нагрузка превышает значение 20 МН, составляет 100 лет или что вероятность превышения нагрузки 20 МН в течение одного (произвольно выбранного) года равна 0,01. При этом является ошибкой утверждение, что вышесказанное равносильно тому, что в течение 100 лет нагрузка обязательно хотя бы раз превысит значение 20 МН.

А.17 **предельное состояние** (limit state): Состояние строительных конструкций здания или сооружения, за пределами которого дальнейшая эксплуатация здания или сооружения опасна, недопустима, затруднена или нецелесообразна либо восстановление работоспособного состояния здания или сооружения невозможно или нецелесообразно.

Примечание — Понятие предельного состояния не следует путать с понятием аварийного состояния. Первое является составной частью методологии проектирования, в то время как второе используется применительно к эксплуатируемому сооружению, у которого выявлены критические отклонения от проектных характеристик.

А.18 **расчетная модель** (computational model): Идеализация конструктивной системы, используемая для проектирования или оценки, отражающая действительные условия работы сооружения и отвечающая рассматриваемой расчетной ситуации.

А.19 **расчетное значение нагрузки** (design value of action): Предельное (максимальное или минимальное) значение нагрузки в течение срока эксплуатации объекта, учитываемое при его проектировании.

А.20 **расчетная ситуация** (design situation): Учитываемый в расчете комплекс возможных условий, определяющих расчетные требования к строительным конструкциям, системам инженерно-технического обеспечения и частям указанных конструкций и систем.

А.21 **расчетные сочетания нагрузок** (action combinations): Все возможные неблагоприятные комбинации нагрузок, которые необходимо учитывать при проектировании объекта.

А.22 **расчетный критерий предельного состояния** (limit state equation): Соотношение между базовыми переменными (параметрами, характеризующими проектируемое сооружение, и характеристиками природной среды), определяющее условия реализации предельного состояния определенного вида для данной расчетной ситуации.

А.23 **формула нагрузки** (action equation): Детерминистическое соотношение, с помощью которого вычисляется значение нагрузки данного вида через известные параметры, характеризующие соответствующее воздействие.

Примечание — Формула нагрузки может быть задана как аналитическим выражением, так и произвольным алгоритмом, позволяющим однозначно находить значение нагрузки при заданных параметрах.

А.24 **фундамент** (foundation): Часть сооружения, которая служит для передачи нагрузки от сооружения на основание.

Примечание — Для морских платформ гравитационного типа фундаментом является конструкция опорной части платформы, непосредственно примыкающая к грунту основания и передающая нагрузку на него через подошву и, при наличии, пластинчато-ребристую конструкцию.

Приложение Б
(справочное)

Методика вероятностного расчета значений нагрузки заданной обеспеченности от воздействия дискретных ледяных образований определенного вида

Представленная методика основана на положениях, содержащихся в международных стандартах [5] и [6].

Общие положения вероятностного моделирования ледовых нагрузок

Б.1 Предполагается, что воздействие ледяного покрова на морскую платформу в течение года может быть представлено в виде последовательности воздействий дискретных ледяных образований определенного вида: полей ровного льда, гряд торосов, торосистых полей и т. д. Воздействие однотипных ледяных образований относим к одной расчетной ситуации. Обозначим различные расчетные ситуации PC_1, PC_2, ... Обозначим количество различных расчетных ситуаций, учитываемые при проектировании, через K, а количество реализаций конкретной расчетной ситуации PC_j обозначим через m_j, $j = 1, ..., K$. Тогда общее количество ледяных образований, воздействующих на платформу в течение года, составит $N = \sum_{j=1}^{K} m_j$.

Примечание — Указанное разбиение ледяного покрова на дискретные образования, воздействующие на платформу, является неоднозначным, поэтому рекомендуется рассматривать несколько характерных вариантов.

Б.2 Некоторые параметры ледяных образований, а также, возможно, некоторые характеристики процесса взаимодействия [обозначим их для единообразия $\omega = (\omega_1, \omega_2, ...)$] рассматриваются как случайные величины с заданными вероятностными распределениями, а другие — как детерминистические с известными значениями. Общее количество параметров, а также доля случайных среди них характеризует сложность используемой модели.

Б.3 Для каждой учитываемой при проектировании расчетной ситуации PC_j ледовая нагрузка $Q^{(j)}$ (годовой максимум для данного сценария) определяется как максимальная из нагрузок $q_i^{(j)}$ в соответствующем году

$$Q^{(j)} = \max\left\{q_1^{(j)}, q_2^{(j)}, ..., q_i^{(j)}, ..., q_{m_j}^{(j)}\right\},$$

где $q_i^{(j)}$ — значение нагрузки, отвечающее i-й реализации рассматриваемой PC_j в течение одного года. В общем случае значения m_j и $q_i^{(j)}$ являются случайными и описываются определенными вероятностными распределениями. В практических вычислениях допускается задавать m_j среднегодовыми значениями.

Если в каком-либо конкретном году некоторый сценарий I ни разу не был реализован, то есть если воздействия ледяных образований вида I не имели места, то $q_I^{(I)}$ следует приравнивать нулю.

Б.4 Значения $Q^{(j)}$ являются случайными величинами. Значения, соответствующие назначенной вероятности превышения в течение года (или иначе — обеспеченности), характеризуют нормативные значения нагрузок, соответствующие PC_j.

Если обозначить функцию распределения величин $q_i^{(j)}$ через $F_q^{(j)}(x)$, то функция распределения величины $Q^{(j)}$ согласно Б.1 определяется следующим образом

$$F_Q^{(j)}(x) = \left[F_q^{(j)}(x)\right]^{m_j}. \qquad (Б.1)$$

Б.5 В соответствии с вышесказанным каждая нагрузка $q_i^{(j)}$, а следовательно, и $Q^{(j)}$ являются функциями n_j определяющих параметров $\omega^{(j)}$, а именно

$$q_i^{(j)} = \Phi^{(j)}(\omega_1^{(j)}, \omega_2^{(j)}, ..., \omega_{n_j}^{(j)}). \qquad (Б.2)$$

Примечание — В общем случае количество определяющих параметров n_j является различным для разных расчетных ситуаций.

Б.6 Формула (Б.2) называется уравнением (формулой) нагрузки. Отношение между индивидуальной (отвечающей одному событию воздействия при реализации PC_j) нагрузкой $q_i^{(j)}$ и определяющими параметрами $\omega^{(j)}$ не обязательно должно быть аналитическим выражением — оно может состоять из нескольких выражений, описывающих различные механизмы разрушения ледяных образований, воздействующих одновременно на сооружение, и может представлять собой сложный вычислительный алгоритм.

Б.7 Обычно величина $Q^{(j)}$ характеризует глобальную горизонтальную нагрузку, но она может быть также опрокидывающим моментом, вертикальной нагрузкой, локальной нагрузкой и др. Для случая морского льда в состав определяющих параметров $\omega^{(j)}$ могут включаться толщина льда, размеры ледяного поля, скорость дрейфа, ширина зоны взаимодействия льда с сооружением, давление разрушающегося льда и другие факторы. Наиболее значимыми параметрами с определяющим влиянием на экстремальные значения нагрузки $Q^{(j)}$ обычно являются

толщина и прочность льда как ровного, так и деформированного, включая наслоенный, а также толщина консолидированного слоя тороса.

Анализ индивидуальных сценариев взаимодействия

Б.8 При использовании вероятностного подхода нагрузка $Q_{\alpha}^{(j)}$ заданной обеспеченности α для расчетной ситуации $РС_j$ определяется как решение уравнения

$$\mathcal{P}\left\{Q^{(j)} \geq Q_{\alpha}^{(j)}\right\} = 1 - F_Q^{(j)}(x) = \alpha, \tag{Б.3}$$

где $\mathcal{P}\{\cdot\}$ — вероятность события, показанного в скобках.

Если, например, для нормативной нагрузки принять обеспеченность 0,01, а для особой нагрузки — обеспеченность 0,001 или 0,0001 (иногда говорят, что это соответственно нагрузки Q_E и Q_A экстремального и аномального уровня), то данные нагрузки с учетом (Б.3) определяются следующими соотношениями:

$$F_Q^{(j)}\left(Q_E^{(j)}\right) = 0{,}99; \tag{Б.4}$$

$$F_Q^{(j)}\left(Q_A^{(j)}\right) = 0{,}999\ (0{,}9999). \tag{Б.5}$$

Б.9 Во многих случаях годовые максимальные значения ледовых нагрузок можно непосредственно использовать для формирования их вероятностного распределения. Если для определения ледовых нагрузок от дискретных ледяных образований используется математическая модель случайного потока событий, таких как воздействие отдельных льдин, торосов или айсбергов, то можно связать распределение годовых максимумов $F_Q(x)$ с распределением индивидуальных нагрузок $F_q(x)$ [см. (Б.1)]. Соотношение между $F_Q(x)$ и $F_q(x)$ зависит от частоты событий и характеристик процесса взаимодействия льда с сооружением. Используя эту информацию, можно рассчитать искомые значения Q_E и Q_A, решая уравнения (Б.4) и (Б.5) аналитически или численно.

Б.10 Последовательность ледовых событий (событий воздействия ледяных образований на сооружение) в течение заданного периода часто можно рассматривать как пуассоновский процесс (поток). В предположении, что ледовые события образуют пуассоновский поток с интенсивностью η (иначе говоря, если значения m_j подчиняются распределению Пуассона с параметром η), можно показать, что имеет место следующее отношение между функциями распределения $F_Q(x)$ и $F_q(x)$

$$F_Q(x) = \exp\left\{-\eta\left[1 - F_q(x)\right]\right\}, \tag{Б.6}$$

где η можно интерпретировать как среднюю годовую частоту воздействия ледяных образований рассматриваемого вида (соответствующих конкретной расчетной ситуации $РС_j$) на сооружение.

Б.11 Уравнение (Б.6) остается справедливым для произвольных значений η — как для больших (например, в несколько тысяч — для случая торосов), так и для малых (порядка 10^{-3} для случая айсбергов — один айсберг за тысячу лет).

В уравнениях (Б.4) и (Б.5) используются небольшие значения уровней превышения; это приводит к тому, что уравнение (Б.6) допускает приближенное решение

$$F_q\left(Q_{\alpha}\right) \approx 1 - \alpha / \eta, \tag{Б.7}$$

где Q_{α} — значение ледовой нагрузки, соответствующее уровню превышения α. Приближенное представление (Б.7) сохраняет приемлемую точность при $\alpha \leq 10^{-2}$.

Примечание — Уравнение (Б.7) не применяется для $\alpha/\eta \geq 1$, когда события, связанные с воздействием, происходят очень редко и величина η является небольшой. В этом случае нормативное значение ледовой нагрузки, соответствующее уровню превышения α, не существует (не определено). Например, если частота воздействия айсбергов составляет $\eta \approx 10^{-3}$, то можно определить расчетное значение особой нагрузки ($\alpha = 10^{-4}$), тогда как нормативное значение нагрузки от воздействия айсбергов ($\alpha = 10^{-2}$) не определено.

Б.12 В общем случае ледовые события могут быть сопоставлены с дискретными событиями типа воздействия айсберга, тороса или ледяного поля. В то же время они могут быть также сопоставлены с интервалами времени заданной продолжительности — например, один месяц, и отражать тем самым сезонную изменчивость ледовой обстановки.

Б.13 Функция распределения ледовых нагрузок для индивидуального события $F_q(x)$ должна отражать совместное распределение параметров $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_p$. В большинстве случаев использование вероятностного распределения для всех параметров не является обязательным при расчете нормативных (расчетных) значений ледовой нагрузки. Некоторые из параметров имеют небольшую изменчивость и не оказывают существенного влияния на нормативное значение нагрузки или — даже в случае значительной изменчивости — не имеют существенного влияния на формулу нагрузки для данной расчетной ситуации. Это позволяет использовать полувероятностные

подходы, в рамках которых вероятностная обработка нагрузок производится при сокращенном наборе параметров. При этом уравнение нагрузки (Б.2) для каждой $РС_j$ записывается в виде

$$q_j^{(j)} = \Phi^{(j)}\left(\omega_1^{(j)}, \ldots, \omega_k^{(j)};\ \Omega_{k+1}^{(j)}, \ldots, \Omega_{n_j}^{(j)}\right). \qquad (Б.8)$$

В данном случае рассматривается совместное вероятностное распределение основных (определяющих) случайных параметров 1, 2, ..., k, тогда как для остальных определяющих параметров используются номинальные (детерминистические) значения $\Omega_{k+1}^{(j)}, \ldots, \Omega_{n_j}^{(j)}$.

Б.14 В целом для основных ведущих параметров (оказывающих наибольшее влияние на результирующие значения нагрузки) следует использовать оптимальные вероятностные распределения, а не консервативные детерминистические оценки, поскольку сочетание последних может приводить к нереалистичным значениям нормативных ледовых нагрузок. При анализе данного вопроса следует уделять особое внимание «хвостам» рассматриваемых вероятностных распределений, поскольку они могут сильно влиять на значения ледовых нагрузок при малых уровнях превышения.

Объединение различных сценариев

Б.15 При рассмотрении K различных расчетных ситуаций с ледовыми нагрузками для определенного периода времени, например для одного года или одного ледового сезона, следует рассмотреть набор нагрузок, отвечающих одной и той же обеспеченности α, для всех учитываемых расчетных ситуаций: $Q_\alpha^{(1)}, \ldots, Q_\alpha^{(K)}$. Тогда в качестве консервативной оценки Q_α^* максимальной за год ледовой нагрузки заданной обеспеченности α можно принять значение

$$Q_\alpha^* = \max\left\{Q_\alpha^{(1)}, \ldots, Q_\alpha^{(K)}\right\}. \qquad (Б.9)$$

Б.16 Предполагая, что нагрузки $Q^{(j)}$ являются стохастически независимыми, можно получить следующее соотношение для функции распределения максимальной за год ледовой нагрузки

$$F_Q^{(год)}(x) = F_Q^{(1)}(x) F_Q^{(2)}(x) \ldots F_Q^{(K)}(x) \qquad (Б.10)$$

и определять значение годовой ледовой нагрузки Q_α с обеспеченностью α, решая следующее уравнение

$$F_Q^{(год)}(Q_\alpha) = 1 - \alpha. \qquad (Б.11)$$

Примечание — Предположение о независимости нагрузок, отвечающих разным расчетным ситуациям, в общем случае может оказаться некорректным и должно быть обосновано в случае использования вышеизложенного подхода. Случай с зависимыми нагрузками является существенно более трудным для анализа и требует привлечения сложных вероятностных моделей.

Б.17 В силу ограниченности доступной информации о большинстве определяющих параметров ω, что выражается в практической невозможности выполнения корректной статистической обработки данных, рекомендуется оставлять для рассмотрения лишь небольшое число случайных параметров (обычно не больше трех-четырех из числа наиболее значимых), а остальные заменять номинальными значениями с обоснованной степенью консерватизма.

Приложение В
(справочное)

Правила масштабирования при проведении модельных испытаний

В.1 В случае использования для анализа взаимодействия ледяного покрова с сооружением метода модельных испытаний необходимо выбрать оптимальную взаимосвязанную систему масштабирования, которая наиболее полно отражает преобладающие механизмы разрушения льда, процессы взаимодействия ледяного покрова с сооружением, а также реакции сооружения на ледовые нагрузки. Модельные испытания способны предоставить корректную информацию о ледовых нагрузках на проектируемое сооружение только при условии правильного воспроизведения возможных режимов разрушения льда.

В.2 При физическом моделировании взаимодействия льда и сооружения тождественность результатов (возможно, только некоторой их части) для натурного объекта и модели (после пересчета) обеспечивается, исходя из соблюдения условий подобия при масштабировании. В качестве основных критериев подобия для натурного объекта и модели в случаях, когда можно пренебречь эффектами вязкости воды (например, при низких скоростях дрейфа льда), обычно используются число Фруда

$$\mathrm{Fr} = \frac{v^2}{gL}$$

и число Коши

$$\mathrm{Ca} = \frac{\rho_w v^2}{E},$$

где v — скорость дрейфа льда, м/с;
g — ускорение свободного падения, м/с^2;
L — характерный линейный размер сооружения, м;
ρ_w — плотность воды, кг/м^3;
E — модуль упругости льда, МПа.

В.3 Для того чтобы удовлетворить условия критериев подобия Фруда и Коши, различные геометрические и физические параметры испытуемых объектов должны быть масштабированы в соответствии в таблицей В.1.

Таблица В.1 — Формулы масштабирования

Физический параметр	Масштабная модель	Натурные условия
Толщина льда (и другие характерные геометрические размеры ледяных образований)	h'	$h = \lambda\, h'$
Размеры сооружения	L'	$L = \lambda\, L'$
Прочность льда на изгиб	σ_f'	$\sigma_f = \lambda\, \sigma_f'$
Прочность льда на сжатие (на смятие)	σ_c'	$\sigma_c = \lambda\, \sigma_c'$
Модуль упругости льда	E'	$E = \lambda\, E'$
Плотность воды	ρ_w'	$\rho_w = \rho_w'$
Плотность льда	ρ_i'	$\rho_i = \rho_i'$
Время	t'	$t = \lambda^{1/2} t'$
Скорость	v'	$v = \lambda^{1/2} v'$
Сила	F'	$F = \lambda^3 F'$
Коэффициент трения лед — поверхность сооружения	μ_{is}'	$\mu_{is} = \mu_{is}'$
Коэффициент трения лед — лед (применительно к обломкам льда)	μ_i'	$\mu_i = \mu_i'$

Примечания

1 Коэффициент геометрического масштабирования λ, как правило, принимается в диапазоне от 10 до 50.

2 Прочность при сжатии моделированного льда наиболее сложно поддается измерению с достаточной точностью.

Приложение Г
(справочное)

Основные типы морских ледостойких платформ

Г.1 Ледостойкие морские платформы характеризуются значительным разнообразием. Из-за наличия целого комплекса факторов различной природы, влияющих на выбор концепции освоения морских месторождений, конструктивные решения для проектируемых в ледовых условиях морских платформ практически всегда имеют уникальный характер.

Соответствующие специфические особенности платформ могут оказывать значительное влияние на характер взаимодействия платформы с ледяным покровом и отдельными ледяными образованиями и тем самым на перечень расчетных ситуаций, которые необходимо учитывать при проектировании. Исчерпывающая и общепринятая классификация ледостойких платформ по различным признакам в настоящее время отсутствует. Ниже приводятся наиболее характерные признаки, используемые на практике для описания ледостойкой платформы конкретного вида.

Примечание — Далее в приложении рассматриваются только ледостойкие платформы; для краткости слово «ледостойкая» в последующем тексте опущено.

Г.2 По способу закрепления на точке платформы подразделяются на стационарные и плавучие.

Примечание — Следует иметь в виду, что плавучая платформа эксплуатируется практически все время на одной и той же точке, поэтому также может характеризоваться как стационарно пребывающая на одном месте. Поэтому во избежание путаницы термин «стационарная» применяется только к платформам, жестко закрепленным на дне (в английском языке в этом случае применяется термин «fixed platform», который не имеет прямого перевода на русский язык).

Г.3 Стационарные платформы по способу обеспечения устойчивости на грунтовом основании при действии горизонтальных нагрузок подразделяются на следующие типы:

- платформы гравитационного типа, устойчивость которых на морском дне обеспечивается за счет собственной массы и массы балласта (могут дополнительно иметь на днище ребристую конструкцию — «юбку», которая при установке платформы на месте эксплуатации внедряется на полную глубину в донный грунт);
- платформы со свайным фундаментом, устойчивость которых на морском дне обеспечивается за счет закрепления на дне моря сваями;
- платформы с фундаментом комбинированного типа.

Г.4 Плавучие платформы подразделяются по способу обеспечения нахождения на точке эксплуатации в заданных пределах. Различают следующие виды систем удержания:

- системы якорного позиционирования, включающие якоря и гибкие якорные линии;
- системы удержания у точечного причала швартового типа;
- системы динамического позиционирования, обеспечивающие позиционирование на точке с помощью специально установленных движителей — подруливающих устройств;
- комбинированные системы позиционирования, включающие якорные системы и подруливающие устройства.

Г.5 Платформы различаются по форме и конструкции опорной части (корпуса). Для стационарных платформ опорная часть может быть выполнена в виде ферменной конструкции, или «джекета» (пространственная конструкция из трубчатых элементов), представлять собой объемный один или несколько кессонов, одноколонную конструкцию башенного типа (типа «моноопод»/«монокон»), многоколонную конструкцию с различной подводной частью и др.

Корпус плавучих платформ может быть выполнен в виде конструкции судовой формы (технологическое судно), понтонной формы (полупогружная платформа) или иной формы (в основном рассматриваются осесимметричные формы — платформы типа SPAR, BUOY и др.). На уровне концепций для плавучих платформ также известны многоколонные решения.

Г.6 Плавучие платформы с якорной или комбинированной системой позиционирования могут быть отсоединяемыми и неотсоединяемыми. Концепция отсоединяемости позволяет снизить расчетные ледовые нагрузки за счет возможности оперативного отсоединения и временного ухода платформы с точки в случае прогнозирования экстремальной ледовой обстановки.

Г.7 Основным конструкционным материалом, используемым для строительства корпуса плавучих платформ, является сталь. Основным конструкционным материалом, используемым для строительства опорной части стационарных платформ, может быть как сталь, так и бетон (с соответствующим армированием). Возможно применение комбинированных решений: сталебетонные несущие конструкции, композитные материалы (облегченный бетон специального состава, облегченная сталь специального состава) и прочее.

Свойства конструкционных материалов, применяемых при строительстве, должны соответствовать условиям арктического климата.

Г.8 Платформы различаются по составу реализуемых на них технологических функций. Эти функции могут встречаться в разнообразных сочетаниях и включают в себя бурение эксплуатационных скважин, добычу углеводородов, хранение, подготовку к транспорту и отгрузку продукта, проживание персонала и др.

Приложение Д
(справочное)

Краткая характеристика ледового режима морей Российской Федерации

Территория России омывается водами 12 морей и одного моря-озера. Они принадлежат к бассейнам трех океанов — Атлантического (Балтийское, Черное и Азовское моря), Северного Ледовитого (Белое, Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) и Тихого (Берингово, Охотское и Японское моря). К области внутреннего стока относится Каспийское море-озеро. В соответствии с географическим расположением моря России традиционно подразделяют также на следующие группы: южные (Каспийское, Азовское, Черное); северо-западные (Балтийское, Белое); арктические (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское); дальневосточные (Берингово, Охотское, Японское).

Далее приводится краткая характеристика ледового режима указанных морей (для удобства моря перечисляются в алфавитном порядке).

Примечание — Акваторию в юго-восточной части Баренцева моря, между островами Колгуев и Вайгач, иногда называют Печорским морем. Такого географического названия с формальной точки зрения не существует, поэтому оно отсутствует в нижеприведенном перечне.

Азовское море

Климат глубоко вдающегося в сушу Азовского моря отличается континентальностью. Среднемесячная январская температура составляет от минус 1 °С до минус 5 °С, во время северо-восточных штормов она понижается до диапазона от минус 25 °С до минус 27 °С.

На Азовском море ежегодно образуются льды, причем ледовитость сильно зависит от характера зимы. В умеренные зимы к началу декабря лед образуется в Таганрогском заливе. В течение декабря припай устанавливается вдоль северного берега моря, а несколько позже — у остальных берегов. Ширина полосы припая — от 1,5 км на юге до 6 км на севере. В центральной части моря лишь в конце января — начале февраля появляется плавучий лед, который затем смерзается в ледяные поля большой сплоченности (9—10 баллов). Наибольшего развития ледяной покров достигает в первой половине февраля, когда его толщина составляет 20—60 см в средние зимы и 80—90 см в суровые (более высокие значения характерны для Таганрогского залива).

Ледовые условия в течение зимы отличаются неустойчивостью. При смене холодных и теплых воздушных масс и ветровых полей над морем неоднократно происходит взламывание ледяных полей и образование торосов, лед может превращаться из неподвижного в дрейфующий и обратно. В открытом море высота торосов не превышает 1 м, а у Арабатской Стрелки может доходить до 5 м. В мягкие зимы центральная часть моря, как правило, свободна от льда, он наблюдается лишь вдоль берегов, в заливах и лиманах. По средним многолетним данным, льды занимают около 30 % общей площади моря.

Зимой почти на всей акватории температура воды на поверхности отрицательная или близка к нулю, лишь у Керченского пролива повышается до диапазона от 1 до 3 °С.

Очищение моря от льда в умеренные зимы происходит в течение марта сначала в южных районах и устьях рек, затем — на севере и позже всего — в Таганрогском заливе. Средняя продолжительность ледового периода — 4,5 мес. В аномально теплые и суровые зимы сроки образования и таяния льда могут смещаться на 1—2 мес и даже больше.

Балтийское море

Балтийское море в отдельных районах каждый год покрывается льдом. Раньше всего (примерно в начале ноября) лед образуется в северо-восточной части Ботнического залива, в мелких бухточках и у берегов. Затем начинают замерзать мелководные участки Финского залива. Максимального развития ледяной покров достигает в первых числах марта. К этому времени неподвижный лед занимает северную часть Ботнического залива, район Аландских шхер и восточную часть Финского залива. В открытых районах северо-восточной части моря встречаются плавучие льды.

В самые холодные месяцы — январь и февраль — средняя температура воздуха в центральной части моря составляет минус 3 °С на севере и от минус 5 °С до минус 8 °С — на востоке. При редких и кратковременных вторжениях холодного арктического воздуха, связанных с усилением Полярного максимума, температура воздуха над морем понижается до минус 30 °С и даже до минус 35 °С.

Распространение неподвижных и плавучих льдов в Балтийском море зависит от суровости зимы. В мягкие зимы лед, появившись, может совсем исчезнуть, а затем появиться снова. В суровые зимы толщина неподвижного льда достигает 1 м, а плавучих льдов — 40—60 см.

Таяние начинается в конце марта — начале апреля. Освобождение моря ото льда идет с юго-запада на северо-восток.

В суровые зимы на севере Ботнического залива лед можно встретить в июне. Однако море ежегодно очищается ото льда.

Баренцево море

Баренцево море относится к числу ледовитых, но это единственное из арктических морей, которое из-за притока в его юго-западную часть теплых атлантических вод никогда полностью не замерзает. Вследствие слабых течений из Карского моря в Баренцево лед оттуда практически не поступает. Наблюдаются льды местного происхождения. В центральной и юго-восточной частях моря — это однолетние льды, которые образуются осенью и зимой, а весной и летом тают. Лишь на крайнем севере и северо-востоке встречаются старые льды, в том числе иногда и арктические.

Льдообразование в море начинается на севере в сентябре, в центральных районах — в октябре и на юго-востоке — в ноябре. Большой теплозапас вод Баренцева моря сдерживает процессы ледообразования, которое продолжается 7—8 мес и в среднем прекращается в апреле. В результате обычно около трети акватории моря остается свободной ото льда.

Припай в море развит слабо, сравнительно небольшие площади он занимает в Канинско-Печорском районе и у Новой Земли, а у берегов Кольского полуострова встречается только в губах. В море преобладают плавучие льды, среди которых встречаются айсберги — обычно они концентрируются у Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и у Шпицбергена.

Айсберги образуются от ледников, спускающихся к морю с этих островов. Характерной особенностью дрейфа айсбергов в Баренцевом море является вынос большей части айсбергов от Земли Франца-Иосифа в западном и юго-западном направлениях. Изредка айсберги течениями выносятся далеко к югу, вплоть до побережья Кольского полуострова. В море встречаются айсберги всех форм, их размеры изменяются в широких пределах. Средняя масса айсберга составляет около 1 млн т.

В юго-восточной части моря и у западных берегов Новой Земли всю зиму сохраняются заприпайные полыньи. Максимально распространены льды в море в апреле, когда они покрывают до 75 % его площади. Толщина ровного морского льда местного происхождения в большинстве районов не превышает 1 м. Наиболее толстые льды (до 150 см) встречаются на севере и северо-востоке.

Наибольшая интенсивность торошения на акватории Баренцева моря в зимнее время отмечается в юго-восточной части при нажимном дрейфе массива льда на припай или берег. Наибольшая высота паруса ледяных образований находится в диапазоне 3—5 м, глубина киля достигает 15—20 м. В подавляющем большинстве случаев стамухи образуются только в мелководных Печорской, Паханческой и Хайпудырской губах. Средняя осадка стамух — около 4 м, максимальное зарегистрированное значение — 18 м.

В весенне-летнее время однолетние льды быстро тают. В мае южные и юго-восточные районы освобождаются ото льдов, а к концу лета ото льдов очищается почти все море (за исключением районов, прилегающих к Новой Земле, Земле Франца-Иосифа и юго-восточным берегам Шпицбергена).

Ледовитость Баренцева моря изменяется от года к году, что связано с различной интенсивностью Нордкапского течения, с характером крупномасштабной атмосферной циркуляции и с общим потеплением или похолоданием Арктики в целом. В центральной части моря среднее многолетнее положение кромки ледяного покрова примерно следует 74-й параллели.

Белое море

Каждую зиму Белое море на 6—7 мес покрывается льдом, а весной он полностью исчезает, поэтому море относится к морям с сезонным ледяным покровом. Раньше всего (примерно в конце октября) лед появляется в устье Мезени, а позднее всего (в январе) — у Терского берега Воронки и Горла. Льды Белого моря на 90 % состоят из плавучих льдов. Весьма существенная черта ледового режима Белого моря — постоянный вынос льда в Баренцево море. С ним связаны постоянно образующиеся среди зимы полыньи, которые быстро затягиваются молодым льдом. Плавучий лед имеет толщину 35—40 см, но в суровые зимы может достигать 135 см и даже 150 см. Припай в Белом море занимает очень маленькую площадь. Ширина его не превышает 1 км. К концу мая, иногда к середине июня, обычно все море освобождается ото льдов.

Берингово море

Большую часть года значительная часть Берингова моря бывает покрыта льдом. Льды в море имеют местное происхождение, но в северную часть моря через Берингов пролив ветрами и течениями вносится незначительное количество льда из Арктического бассейна, не проникающего обычно южнее острова Святого Лаврентия.

По ледовым условиям северная и южная части моря различаются. Приблизительной границей между ними служит крайнее южное положение льда в течение года — в апреле. В этом месяце кромка идет от залива Бристоль через острова Прибылова и дальше на запад по 57—58-й параллели, а затем опускается на юг к Командорским островам и проходит вдоль побережья до южной оконечности Камчатки. Южная часть моря не замерзает вовсе. Теплые тихоокеанские воды, поступающие в Берингово море через Алеутские проливы, отжимают плавучие льды к северу, и кромка льдов в центральной части моря всегда выгнута к северу.

Процесс льдообразования раньше всего начинается в северо-западной части Берингова моря, где льды появляются в октябре и постепенно продвигаются к югу. В Анадырском заливе и заливе Нортон-Саунд лед можно встретить уже в сентябре. Также в сентябре лед появляется в Беринговом проливе. Зимой пролив заполнен сплошным битым льдом, дрейфующим на север. В начале ноября лед появляется в районе мыса Наварин, а в середине

ноября он распространяется до мыса Олюторский. У берегов Камчатки и Командорских островов плавучий лед обычно появляется в декабре и лишь как исключение в ноябре.

В течение зимы вся северная часть моря, примерно до параллели 60°, заполняется дрейфующими тяжелыми, торосистыми льдами, формируемыми в открытом море в результате сильных сжатий под влиянием ветров и течений. Из-за периодических сжатий и разрежений льдов, связанных в том числе с приливами, образуются торосы (нагромождения льдов), толщина которых доходит до 6—10 м (максимальные значения — до 20 м), многочисленные полыньи и разводья.

Среднемесячная температура самых холодных месяцев — января и февраля составляет от минус 1 °С до минус 4 °С в юго-западной и южной частях моря и от минус 15 °С до минус 20 °С в северных и северо-восточных районах. Однако даже во время наибольшего развития льдообразования открытая часть Берингова моря никогда не покрывается льдом. К югу от параллели островов Прибылова встречаются битые льды и отдельные ледяные поля.

Большое влияние на расположение льдов оказывают ветры. Нагонные ветры нередко забивают отдельные заливы, бухты и проливы тяжелым льдом, принесенным из открытого моря. Сгонные штормовые ветры, наоборот, взламывают неподвижный лед, который образуется зимой в закрытых бухтах и заливах, и уносят его в море, временами очищая весь прибрежный район.

В апреле граница плавучего льда максимально продвигается к югу. С мая лед начинает постепенно разрушаться и отступать на север. Льды восточной части моря выносятся на север, в Чукотское море. В течение июля и августа море бывает совершенно чистым от льда, но и в эти месяцы лед можно встретить в Беринговом проливе. Разрушению ледяного покрова и очищению моря от льда летом способствуют сильные ветры.

Восточно-Сибирское море

Восточно-Сибирское море — самое ледовитое из морей Российской Арктики. Устойчивое ледообразование начинается на севере моря уже в конце августа — раньше, чем в других арктических морях. В среднем Восточно-Сибирское море полностью замерзает за 35—40 сут.

С октября — ноября по июнь — июль оно полностью покрыто льдом. В это время преобладает принос льдов из Арктического бассейна в море, в отличие от других морей Арктики, где превалирует выносной дрейф льда. Характерная особенность льдов Восточно-Сибирского моря — значительное развитие припая зимой. При этом он наиболее широко распространяется в западной, мелководной части моря и занимает узкую прибрежную полосу на востоке моря. На западе моря ширина припая достигает 400—500 км. Здесь он соединяется с припаем моря Лаптевых. В центральных районах его ширина составляет 250—300 км и к востоку от мыса Шелагский — 30—40 км. Граница припая приблизительно совпадает с изобатой 25 м, которая проходит в 50 км к северу от Новосибирских островов, затем поворачивает на юго-восток, приближаясь к побережью материка у мыса Шелагский. К концу периода нарастания льда, в мае, толщина припая достигает 2 м. С запада на восток толщина припая уменьшается.

За припаем располагаются дрейфующие льды. Обычно это однолетний и двухлетний лед толщиной 2—3 м. На самом севере моря встречается многолетний арктический лед. При тяжелом типе ледовых условий старые льды могут занимать до 4/5 акватории всего моря.

Преобладающие зимой ветры южных румбов часто относят дрейфующие льды от северной кромки припая. В результате этого появляются значительные пространства чистой воды и молодых льдов, образующие на западе Новосибирскую и на востоке Врангелевскую стационарные заприпайные полыньи.

В начале лета после вскрытия и разрушения припая положение кромки льдов определяется действием ветров и течений. Однако льды всегда встречаются к северу от полосы острова Врангеля — Новосибирские острова. В западной части моря на месте обширного припая формируется Новосибирский ледовый массив. Он состоит преимущественно из однолетних льдов и к концу лета обычно разрушается. Подавляющая часть пространства на востоке моря занята отрогом Айонского океанического ледяного массива, который в значительной мере образует тяжелые многолетние льды. Его южная периферия в течение всего года почти примыкает к побережью материка, определяя ледовую обстановку в море.

Торосистость льдов Восточно-Сибирского моря в среднем составляет 2 балла и возрастает к границе припая до 3 баллов. Надводная высота торосов в среднем составляет 1—2 м.

На обширном мелководье моря весьма многочисленны стамухи, которые встречаются преимущественно в районах с глубинами до 20 м. Крупные стамухи (с горизонтальными размерами более 10 км) встречаются в центральной части моря, на банках к западу от острова Врангеля и к северу от острова Котельный. Фиксировались стамухи с высотой паруса до 30—40 м, а также стамухи с максимальной осадкой до 35—40 м.

Айсберги в Восточно-Сибирское море дрейфуют в основном из моря Бофорта. Айсберговый сток местных выводных ледников очень мал. Отдельные айсберги были обнаружены вблизи острова Преображения. В основном айсберги распространяются в западной части моря.

Часть ледяных островов и айсбергов, откалывающихся от шельфового льда или многолетнего припая фьордов Канадского Арктического архипелага, включается в систему дрейфа льдов Арктического бассейна и попадает с этим потоком в северную часть Восточно-Сибирского моря. Их протяженность может превышать 10 км, а толщина достигать 30—40 м.

Карское море

Расположенное в высоких широтах и в течение года сплошь или в значительной части покрытое льдом, Карское море прогревается очень слабо.

Карское море полностью покрывается льдом в осенне-зимнее время, и летом освобождается ото льда лишь часть его поверхности. Льдообразование начинается в сентябре в северных районах моря и в октябре — на юге. С октября по май почти все море покрыто льдами разного вида и возраста.

Прибрежную зону занимает припай, его ширина увеличивается с запада на восток. В северо-восточной части моря неподвижный лед образует непрерывную полосу, тянущуюся от острова Белый к архипелагу Норденшельда и оттуда к Северной Земле. Толщина льда 1,5 м. Лед разрушается в конце мая — начале июня. В летнее время эта полоса припая взламывается и распадается на отдельные поля. Они сохраняются длительное время в виде Североземельского ледового массива. В юго-западной части моря припай занимает небольшие площади.

Мористее неподвижного льда располагается зона чистой воды или молодых льдов. Это район заприпайных полыней. В юго-западной части моря располагаются Амдерминская и Ямальская полыньи, а на востоке центральной части моря — Обь-Енисейская полынья. В открытых районах моря распространены дрейфующие льды, среди которых преобладают однолетние местного происхождения. Их максимальная толщина (в мае) 1,5—2 м. В суровые зимы однолетние толстые льды (толщиной более 120 см) могут занимать всю акваторию юго-западной части моря. При этом в северной части моря весьма вероятно присутствие двухлетних и многолетних льдов толщиной до 2,5—3,0 м, которые могут занимать 4—6 % площади.

На юго-западе располагается Новоземельский массив, тающий в течение лета «на месте». В северных районах лед сохраняется постоянно. Сюда спускаются отроги океанических ледовых массивов. Распределение льдов в весенне-летнее время очень разнообразно и зависит от ветров и течений.

В результате активных динамических процессов (дрейф, приливы) в море образуются мощные гряды торосов и стамухи. Места формирования стамух в значительной мере обусловлены особенностями рельефа дна. Множество стамух образуется в Обь-Енисейском районе, в Байдарацкой, Обской и Тазовской губах. В Енисейском и Гыданском заливах они образуются значительно реже. Стамухи формируются в основном из льда местного происхождения, но фиксировались также случаи их формирования из однолетних и двухлетних льдов, принесенных из северо-восточной части моря. Преобладающая осадка стамух составляет 8—12 м.

Айсберги продуцируются ледниками архипелагов Новая Земля, Северная Земля, Земля Франца-Иосифа. Более 80 % всех зафиксированных в море айсбергов — обломки и куски. С февраля по май айсберги находятся преимущественно в северной части моря, вблизи мест их образования. Максимальное число айсбергов в центральной части моря наблюдается в июле — сентябре.

Каспийское море

Каспийское море относится к частично замерзающим морям, причем мелководная северная часть моря замерзает ежегодно. В средней части моря лед появляется вдоль побережий лишь в суровые зимы, в южной части моря льда не бывает.

В Северном Каспии ярко проявляется континентальность климата. В северных районах моря средняя январская температура воздуха составляет от минус 7 °С до минус 10 °С, а минимальная при вторжениях арктического воздуха — до минус 30 °С, что и обусловливает формирование ледяного покрова.

Ежегодно в ноябре Северный Каспий покрывается льдом, площадь замерзающей части акватории зависит от суровости зимы: в суровые зимы льдом покрывается весь Северный Каспий (лед устанавливается примерно до изобаты 20 м), в мягкие — лед держится в пределах 2—3-метровой изобаты. Значительная часть акватории покрывается неподвижным льдом. Полоса плавучего льда шириной 20—30 км окаймляет границы припая.

Появление льда в средней части моря приходится на декабрь — январь. У восточного побережья лед местного происхождения, у западного — чаще всего приносной из северной части моря. В суровые зимы у восточного побережья средней части моря замерзают мелководные заливы, у берегов образуются забереги и припай, у западного побережья дрейфующий лед в аномально холодные зимы распространяется до Апшеронского полуострова. Южная граница среднего распространения льда примерно проходит по свалу глубин Северного Каспия и представляет собой выпуклую к северу дугу, идущую от острова Чечень до острова Кулалы и далее до мыса Тюб-Караган.

В Северном Каспии наибольшая толщина припая наблюдается на северо-востоке в январе (40—50 см), а в западной части и на взморье Волги — к концу зимы, в феврале (20—30 см). В очень холодные зимы толщина припая достигает соответственно 80—90 см и 60—70 см.

Припай на Северном Каспии во многие зимы может взламываться и устанавливаться вновь. В море редко можно встретить ледяной покров естественного нарастания, чаще лед встречается в виде подсовов и наслоений. На границе припая с дрейфующими льдами образуются торосы. Высота торосов составляет 1—1,5 м, а в отдельных случаях доходит до 2—3 м. Часто торосы располагаются грядами длиной от одного до нескольких километров и несколько десятков метров в ширину.

Барьеры стамух достигают длины в несколько километров, имеют ширину в десятки метров, высоту 10—12 м и более. Одиночные стамухи зимнего происхождения могут достигать размеров 100—300 м, а иногда и 500 м в поперечнике и высоты 10—15 м. Максимальная зарегистрированная высота стамухи составляет 20 м.

В суровые зимы известны случаи выноса больших масс плавучего льда под действием ветров далеко на юг вдоль западного побережья моря вплоть до Апшеронского полуострова. При таких экстремальных условиях льды блокируют подходы к порту Махачкала, и может создаваться угроза объектам морских промыслов.

Исчезновение ледяного покрова наблюдается во второй половине февраля — марте. В мягкие зимы северная часть моря очищается от льда уже в середине марта, а в суровые — процесс разрушения ледяного покрова протекает медленно и сроки полного освобождения моря от льда сдвигаются на вторую декаду апреля.

Наибольшая продолжительность ледового периода — в среднем 120—140 сут — наблюдается в северо-восточных районах моря и в восточной части взморья Волги. В суровые зимы длительность ледового периода в северо-восточном районе Каспия достигает 140—170 сут, а в остальных районах Северного Каспия — 100—150 сут.

Море Лаптевых

Длительное и сильное охлаждение при спокойном ветровом режиме — важнейшая климатическая черта моря.

Большой материковый сток приводит к распреснению вод на обширных пространствах моря, особенно в южной и восточной его частях.

Большую часть года (с октября по май) море Лаптевых покрыто льдами. Льдообразование начинается в конце сентября и проходит одновременно на всем пространстве моря.

В среднем море Лаптевых полностью замерзает за 35—40 сут.

Зимой в его отмелой восточной части развит обширный припай толщиной до 2 м, в суровые зимы его толщина может достигать 2,5 м. Границей распространения припая является глубина приблизительно 25 м, которая в этом районе моря удалена на несколько сот километров от берега. В западной и северо-западной частях моря припай невелик, а в некоторые зимы совсем отсутствует. Площадь припая составляет примерно 30 % площади всего моря.

В мелководных районах моря широко распространены стамухи, встречаются в том числе и многолетние.

Дрейфующие льды в море Лаптевых всторошены незначительно, торосистость их в основном составляет 1—2 балла. Надводная высота торосов в ледяном покрове в среднем равна 1—2,5 м, максимальная может достигать 5—6 м.

При почти постоянном выносе льдов из моря на север зимой за припаем почти всю зиму сохраняются значительные пространства полыней и молодого льда. Ширина этой зоны варьируется от десятков до нескольких сотен километров.

Западная часть моря в среднем более ледовитая, чем восточная. С севера вдоль восточного берега Таймыра в море спускается океанический Таймырский ледовый массив, в котором нередко встречаются тяжелые многолетние льды. Он устойчиво сохраняется до нового льдообразования, в зависимости от преобладающих ветров перемещаясь то к северу, то к югу. Местный Янский ледяной массив, образованный припайными льдами, ко второй половине августа обычно тает «на месте» или частично уносится на север за пределы моря.

Источником продуцирования айсбергов в море Лаптевых являются выводные ледники архипелага Северная Земля. Продуцирование айсбергов имеет место большей частью в период после взлома припая в августе — сентябре, реже в октябре. Тогда же отмечается перемещение айсбергов, сохранившихся зимой в припае. Преобладающей формой айсбергов являются обломки и куски — более 90 % общего количества. Средняя длина айсбергов во фьордах Северной Земли — 600 м, ширина — 200 м. Высота айсбергов достигает 20—25 м.

Охотское море

Суровые и продолжительные зимы с сильными северо-западными ветрами способствуют развитию больших масс льда в море. Льды Охотского моря — исключительно местного образования. Здесь встречаются как неподвижные льды — припай, так и плавучие льды, представляющие собой основную форму льдов моря.

В разном количестве льды встречаются во всех районах моря, но летом все море очищается от льдов. Исключение составляет район Шантарских островов, где льды могут сохраняться и летом.

В самом холодном месяце — январе — средняя температура воздуха на северо-западе моря равна от минус 20 °С до минус 25 °С, в центральных районах от минус 10 °С до минус 15 °С, а в юго-восточной части моря от минус 5 °С до минус 6 °С.

Температура воды на поверхности моря понижается с юга на север. Зимой почти повсеместно поверхностные слои охлаждаются до температуры замерзания, равной от минус 1,5 °С до минус 1,8 °С. Лишь в юго-восточной части моря она держится около 0 °С, а вблизи северных Курильских проливов под влиянием тихоокеанских вод температура воды достигает от 1 °С до 2 °С.

В обычные годы южная граница сравнительно устойчивого ледяного покрова изгибается к северу и проходит от пролива Лаперуза до мыса Лопатка (полуостров Камчатка). Крайняя южная часть моря никогда не замерзает. Однако благодаря ветрам в нее выносятся с севера значительные массы льда, часто скапливающиеся у Курильских островов.

Ледяной покров в Охотском море держится на протяжении 6—7 мес. Плавучим льдом покрыто более 75 % поверхности моря. С октября по июнь море покрыто льдом, хотя в южной части моря лед держится не более трех месяцев в году, а крайняя южная часть никогда не замерзает. В зимнее время в Охотском море нет такого места, где полностью исключалось бы наличие льда.

Сплоченные льды северной части моря представляют серьезное препятствие для плавания — даже для ледоколов. Сильные штормы, приливные течения взламывают ледяной покров во многих районах моря, образуя торосы и большие разводья. В открытой части моря никогда не наблюдается сплошного неподвижного льда, обычно здесь лед дрейфующий, в виде обширных полей с многочисленными разводьями. Южное побережье Камчатки и Курильские острова относятся к районам с малой ледовитостью: здесь лед в среднем держится не более трех месяцев в году.

В середине февраля сахалинский массив с преобладающим белым льдом (тонкий однолетний лед толщиной 30—70 см) доходит до острова Хоккайдо. С ним в марте соединяется массив белого льда Пенжинской губы, смещающийся в юго-западном направлении. Толщина нарастающих в течение зимы льдов достигает 0,8—1 м.

Торошение льда в Охотском море происходит под совокупным влиянием ветра, приливных явлений и течений. Наиболее сильные процессы торошения отмечены в районах Сахалинского залива, Ямской губы и у северо-восточных берегов острова Сахалин. Здесь же на глубинах до 25 м возможна встреча со стамухами. Высота торосов в открытом море в среднем составляет около 1 м. На участках же с интенсивным торошением она увеличивается до 2—4 м.

Часть льдов из Охотского моря выносится в океан, где они почти сразу же разрушаются и тают. Общая продолжительность ледового периода в северной части моря достигает 280 дней в году.

С апреля по июнь происходит разрушение и постепенное исчезновение ледяного покрова. В среднем лед в море исчезает в конце мая — начале июня. Окончательное очищение моря от льда происходит обычно в июле, но после экстремально суровых и ледовитых зим возможно смещение срока полного очищения моря до конца августа — начала сентября.

Черное море

Море почти всегда свободно ото льда. Лишь в отдельные холодные зимы прибрежные воды в северо-западной мелководной части моря покрываются льдом. Льдообразование обычно начинается в середине декабря, а максимальное распространение льда наблюдается в феврале. Продолжительность ледового периода сильно меняется: от 130 сут в очень суровые зимы, до 40 сут в мягкие. Толщина льда в среднем не превышает 15 см, в суровые зимы доходит до 50 см.

В очень суровые зимы припай вдоль западного берега распространяется до города Констанцы, а плавучий лед выносится к Босфору.

Граница неподвижного льда в умеренные зимы в северо-западной части моря проходит от Днестровского лимана к Тендровской косе на расстоянии 5—10 км от берега. Далее кромка льда пересекает Каркинитский залив и доходит до средней части Тарханкутского полуострова. Очищение моря от льда происходит в марте (раннее — в начале марта, позднее — в начале апреля).

Чукотское море

Льды в Чукотском море существуют круглый год. Зимой с ноября — декабря по май — июнь море сплошь покрыто льдом — неподвижным у самого берега и плавучим вдали от него. Припай здесь развит незначительно, его ширина не превышает 10—20 км, толщина достигает 170 см. За припаем располагаются дрейфующие льды. Большей частью это одно- и двухлетние ледяные образования толщиной 150—180 см. На севере моря встречаются многолетние тяжелые льды.

В зимний период лед с торосистостью 3 балла наблюдается в юго-западной части моря. В прибрежной зоне вдоль чукотского побережья вследствие нажимного дрейфа льда в течение зимних месяцев торосистость может достигать 5 баллов. Стамухи в Чукотском море формируются узкой зоной (до 15 км) вдоль Чукотского побережья вокруг острова Врангеля. Максимальная высота стамух 15—20 м, глубина осадки — 25—30 м. Характерны застамушенные торосистые барьеры, иногда до 5—6 параллельных друг другу и берегу вмерзших в припай барьеров. Большинство стамух летом разрушаются, однако наблюдались стамухи с продолжительностью существования от 2 до 7 лет, в основном на границе с Восточно-Сибирским морем.

При затяжных ветрах, отжимающих дрейфующий лед от материкового побережья Аляски, между ним и припаем образуется стационарная Аляскинская полынья. Одновременно в западной части моря формируется Врангелевский ледяной массив. Вдоль побережья Чукотки за припаем иногда открывается узкая, но очень протяженная (до многих сотен километров) Чукотская заприпайная прогалина.

Летом кромка льда отступает на север. В море образуются Чукотский и Врангелевский ледяные массивы. В отдельные годы лед скапливается в проливе Лонга и в виде языка тянется вдоль Чукотского берега. В такие годы плавание судов здесь крайне затруднительно. В другие годы льды, напротив, отступают далеко от берегов Чукотского полуострова, что весьма благоприятно для навигации. В конце сентября начинается образование молодого льда, который с течением времени продолжает нарастать и к зиме покрывает все море.

В отдельные годы в северные районы Чукотского моря и район острова Врангеля поступает незначительное число айсбергов и ледяных островов из моря Бофорта и прилегающей акватории Арктического бассейна.

Японское море

На севере моря (в Татарском проливе) лед образуется ежегодно, а к югу от Татарского пролива устойчивое льдообразование ежегодно наблюдается только в глубоко вдающихся в материк заливах и бухтах. Северная и северо-западная части моря, прилегающие к материковому берегу, ежегодно на 4—5 мес покрываются льдом, площадь которого занимает около четверти пространства всего моря. Появление льда в закрытых бухтах и заливах материкового берега в Японском море возможно уже в октябре, с конца ноября — начала декабря лед начинает образовываться в открытом море. Последний лед задерживается на севере иногда до середины июня. Таким образом, полностью свободным ото льда море бывает только в течение летних месяцев — июля, августа и сентября.

Наибольшего развития ледяной покров достигает примерно в середине февраля. Припай в Японском море развит незначительно. Толщина ледяного покрова в середине февраля доходит до 1 м. К югу от Советской Гавани припай в бухтах неустойчив и в течение зимы может неоднократно взламываться.

Ледовитость Японского моря значительно изменяется от года к году. Возможны случаи, когда ледовитость одной зимы в два раза и более превышает ледовитость другой.

Библиография

[1] Номенклатура ВМО по морскому льду. WMO/OMM/BMO — No. 259. — Издание 1970—2017

[2] НД 2-020201-013 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ

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

[4] Серия ГОСТ Р 50779 Статистические методы

[5] ISO 19906:2010 (ISO 19906:2010) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа (Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures)

[6] ISO/DIS 19906:2017(E) Petroleum and natural gas industries — Arctic offshore structures

УДК 551.467:006 ОКС 75.180 ОК 005

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, арктические операции, ледовые нагрузки, проектирование морских платформ, расчетные ситуации, нормативные и расчетные значения

БЗ 10—2018/15

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Л.В. Софейчук*

Сдано в набор 16.11.2018. Подписано в печать 25.12.2018. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,78.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

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

gost.e-ecolog.ru