



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
748—
2024

Нефтяная и газовая промышленность
СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ
Нагрузки, воздействия и реакции

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2024 г. № 112-пнст

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: inf@gazprom335.ru и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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

II

Введение

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

Целью разработки настоящего стандарта является установление единых правил по учету воздействий и реакций на воздействия при проектировании и верификации конструкций, применяемых в системах подводной добычи углеводородов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ

Нагрузки, воздействия и реакции

Petroleum and natural gas industry. Subsea production systems. Actions, action effects and reactions

Срок действия — с 2025—03—01
до 2028—03—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает общие принципы и рекомендации по учету действующих нагрузок и воздействий на проектируемые и эксплуатирующиеся конструкции объектов систем подводной добычи (СПД) углеводородов, а также реакций на эти воздействия.

1.2 При проектировании, строительстве и эксплуатации СПД под техническим наблюдением Российского морского регистра судоходства расчетные значения нагрузок и воздействий на конструкции должны удовлетворять положениям правил [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ Р 12.3.047 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля

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

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

ГОСТ Р 57148—2016 (ИСО 19901-1:2015) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Проектирование и эксплуатация с учетом гидрометеорологических условий

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

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

ГОСТ Р 59305 (ИСО 13629-1:2005) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 1. Общие требования и рекомендации

ГОСТ Р 70831 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские стационарные. Правила проектирования и строительства

ГОСТ Р 71122 (ИСО 13628-15:2011) Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация систем подводной добычи. Часть 15. Подводные конструкции и манифольды

ПНСТ 614—2023 Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Моделирование и расчет морских операций. Методические указания

СП 38.13330 «СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»

Издание официальное

1

Примечание — При использовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 27.102, ГОСТ Р 59304, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **отклик**: Реакция конструкции на воздействие нагрузки.

3.2 **зона периодического смачивания**: Участок конструкции, находящейся в зоне воздействия волн и колебаний уровня моря.

4 Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

КЭ — конечные элементы;

ALS — особое предельное состояние (accidental limit state);

BEM — метод граничных элементов (boundary-element method);

CFD — вычислительная гидродинамика (computational fluid dynamics);

FLS — предельное состояние по критериям усталостной прочности (fatigue limit state);

SLS — предельное состояние по критериям пригодности к нормальной эксплуатации (serviceability limit state);

ULS — основное предельное состояние (ultimate limit state).

5 Постоянные нагрузки

5.1 Общие положения

5.1.1 К постоянным нагрузкам относят нагрузки от воздействия, не изменяемые по величине, положению или направлению в течение рассматриваемого периода времени. Например, в качестве постоянных нагрузок следует рассматривать:

- вес конструкции;
- вес постоянного балласта и оборудования, включая системы позиционирования и райзеры;
- внешнее гидростатическое давление до среднего уровня воды;
- преднапряжение (статическое растяжение в исходном положении).

5.1.2 Постоянные нагрузки на подводное устьевое оборудование учитывают по ГОСТ Р 59305, на подводное оборудование системы сбора пластового продукта — по ГОСТ Р 71122.

5.2 Гидростатическое давление

Элементы конструкций, подверженные действию высокого гидростатического давления и связанные:

- с возможным изменением уровня и плотности воды, допусков на размеры;
- неточностями измерения;
- другими неопределенностями, влияющими на перепад давления.

6 Переменные нагрузки

6.1 Общие положения

К переменным нагрузкам относят нагрузки от тех воздействий, которые возникают при нормальной эксплуатации конструкции и изменяются по положению, величине и направлению в течение рассматриваемого периода.

При определении усталостной прочности конструкций от действия переменных нагрузок применяют ГОСТ Р 70831.

6.2 Нагрузки от кранового оборудования

Нагрузки от кранов определяют с учетом динамических эффектов и движений тех сооружений, на которых установлено крановое оборудование.

Нагрузки рассчитывают с учетом ожидаемой частоты использования кранового оборудования, динамических эффектов от ветра, погрузки и разгрузки судов. При необходимости следует рассматривать нагрузки при прохождении грузов через зону периодического смачивания.

6.3 Нагрузки в сосудах

Для расчета сосудов следует применять наиболее неблагоприятную комбинацию давлений с каждой стороны стенки, например при максимальном уровне жидкости в одной емкости и минимальном в другой.

Для внешних поверхностей, обращенных к морю, следует учитывать соответствующие условия внешнего давления, включая гидростатическое и гидродинамическое давление как внутри емкости, так и снаружи, в море, таким образом, чтобы в качестве основы для расчета был выбран наиболее опасный перепад давления.

6.4 Монтажные нагрузки

Нагрузки от спуско-подъемных операций воздействуют на сооружение или его части на этапах строительно-монтажных и сервисных работ. Такие воздействия следует определять с учетом фактического веса и увеличения веса оборудования, смещения центра тяжести, динамических эффектов.

Положения по нагрузкам и воздействиям во время морских операций приведены в ПНСТ 614—2023.

7 Гидрометеорологические воздействия

7.1 Общие сведения

7.1.1 Гидрометеорологические воздействия возникают в результате различных метеорологических процессов и, как правило, оцениваются частотой появления и величиной воздействия. В контексте настоящего стандарта гидрометеорологические воздействия включают в себя воздействия:

- от волн;
- ветра;
- течений;
- атмосферных осадков в виде дождя, снега и града;
- обледенения;
- морского льда и айсбергов;
- переменного уровня моря;
- температуры воздуха;
- температуры морской воды.

7.1.2 Методика расчета и критерии воздействий могут отличаться для различных расчетных случаев, например для расчетов:

- ULS и ALS, связанного с аварийными ситуациями;
- FLS;
- SLS.

7.1.3 Параметры, описывающие гидрометеорологические условия, должны быть основаны на наблюдениях или ретроспективных данных с места планируемой установки сооружения, а также на общих сведениях о гидрометеорологических условиях в этом районе.

7.1.4 Учет и расчет гидрометеорологических нагрузок и воздействий выполняют согласно положениям настоящего стандарта, ГОСТ Р 57148 и СП 38.13330.

7.1.5 Гидрометеорологические воздействия следует определять исходя из ежегодной вероятности превышения значений предельных состояний. Характерные воздействия при проектировании конструкций должны быть указаны таким образом, чтобы годовая вероятность превышения отклика соответствовала 10^{-2} ULS и SLS и 10^{-4} ALS. Для предельных состояний по усталости следует использовать историю ожидаемых воздействий. В ходе статистического анализа измеренных или смоделированных данных должны быть применены различные статистические методы для оценки чувствительности результата. Следует провести валидацию законов распределений данных с помощью общепризнанных методов.

7.2 Моделирование гидрометеорологических условий

7.2.1 Волновые нагрузки

7.2.1.1 Волновые нагрузки и воздействия на СПД следует определять с учетом условий расчетного шторма.

7.2.1.2 В качестве расчетного шторма для эксплуатационного периода следует принимать шторм повторяемостью один раз в 100 лет.

7.2.1.3 Параметры волнения при расчетном шторме: значения высоты, длины и периода волн различной обеспеченности в системе, а также спектральную плотность волнения следует определять по результатам статистической обработки результатов инженерно-гидрометеорологических наблюдений.

7.2.1.4 При недостаточности данных инженерно-гидрометеорологических изысканий определение параметров волнения расчетного шторма следует проводить на основании расчетных методов с их последующей верификацией по данным наблюдений в конкретном месте изысканий или в акваториях со схожими условиями волнообразования.

7.2.1.5 Модели спектра волн приведены в ГОСТ Р 57148.

7.2.1.6 Характеристики волнения, соответствующие расчетным значениям скорости ветра и уровню воды, следует определять с учетом воздействий течений и профиля морского дна.

7.2.1.7 Для краткосрочного и долгосрочного моделирования характеристик волнения рекомендуются положения [2].

7.2.1.8 Параметры волнения следует определять путем применения расчетных программных комплексов.

7.2.2 Скорость течения

7.2.2.1 Скорость течения на месте размещения СПД должна быть установлена на основе имеющихся измерений в фактическом и/или близлежащем местоположении.

7.2.2.2 Минимальная продолжительность измерений должна составлять два года. Если доступны данные, полученные на близлежащих участках шельфа, минимальная продолжительность измерений может быть уменьшена до одного года.

7.2.2.3 Состояние течения в определенном месте в большинстве случаев характеризуются профилем, полученным путем прогнозирования скорости течения, соответствующей заданной ежегодной вероятности превышения для каждого уровня глубины с достаточным количеством измерений течения. Количество уровней глубины должно быть достаточным для описания особенностей течения в зависимости от глубины. Минимально достаточное количество уровней — 5—8, в зависимости от глубины воды.

7.3 Гидродинамические воздействия

7.3.1 Количественные прогнозы и теоретические расчеты, которые содержат значительные неопределенности, должны быть подтверждены проведением модельных испытаний на гидродинамические воздействия.

7.3.2 При расчете гидродинамических воздействий следует учитывать волнение и течение. В сочетании с волнами профиль скорости течения должен распространяться от уровня морского дна до уровня воды.

7.3.3 Волновые воздействия на стационарные сооружения большого объема следует рассчитывать на основе теории дифракции волн с использованием BEM или CFD.

7.3.4 При расчете гидродинамических нагрузок на плавучие сооружения СПД следует учитывать влияние воздействий инерции, демпфирования и восстанавливающих сил, сформулированных в уравнении динамики движения.

7.3.5 Для сооружений, расположенных в непосредственной близости друг к другу, следует учитывать взаимное влияние и воздействия.

7.3.6 Необходимо принимать во внимание возможность возникновения явления слеминга на сооружениях СПД (см. также [3]).

7.4 Воздействия ветра

7.4.1 Общие положения

7.4.1.1 Следует учитывать воздействия ветра на конструкции и оборудование, расположенные выше уровня воды, включая рубки, переходные мостики, факельные стрелы и буровые вышки, расположенные на верхних строениях. Необходимо также иметь в виду, что скорость ветра меняется в зависимости от высоты элемента.

7.4.1.2 При учете ветровых воздействий следует принимать во внимание значения собственных частот колебаний конструкции. Конструкции с частотой собственных колебаний менее 5 Гц следует рассчитывать с учетом динамической ветровой нагрузки. Для жестких конструкций можно принимать статические параметры ветровой нагрузки.

7.4.2 Параметры ветра

7.4.2.1 Скорость ветра в месте расположения сооружения предпочтительнее определять на основе имеющихся ретроспективных данных или измерений в фактических и/или близлежащих местах. Если скорость ветра имеет большое значение для проектирования, а существующие данные о ветре либо незначительны по своему объему, либо не определены в достаточной степени, измерения скорости ветра следует проводить в месте расположения сооружения.

7.4.2.2 При отсутствии данных профиль скорости ветра в зависимости от высоты и спектр скорости ветра могут приниматься согласно ГОСТ Р 57148—2016 (А.7). При этом для континентального шельфа средняя скорость ветра U_{w0} на высоте 10 м над уровнем моря с вероятностью превышения 10^{-2} в год может быть принята равной 36 м/с (среднее за 1 ч), а с вероятностью превышения 10^{-4} в год — 41 м/с (среднее за 1 ч).

7.4.3 Экстремальная скорость ветра

Экстремальные значения скорости ветра рассчитывают по ГОСТ Р 57148.

7.5 Воздействия от морского брызгового обледенения

7.5.1 Общие положения

7.5.1.1 Брызговое обледенение следует оценивать в отношении воздействий на конструкции и системы, обеспечивающие безопасность, такие как спасательные шлюпки, системы вентиляции, системы связи и т. д.

7.5.1.2 Для ULS и ALS должны быть учтены пропорциональные ежегодной вероятности превышения 10^{-2} и 10^{-4} соответственно. В отношении систем, представляющих значимость для безопасности, должно быть оценено любое влияние на их эффективность. Дополнительная информация о воздействии брызгового обледенения приведена в [4].

7.5.1.3 При расчете воздействия волн, течения и ветра следует учитывать увеличение размеров, изменение формы и шероховатости поверхности конструкции в результате нарастания льда от морских брызг, покрывающего конструкцию по периметру.

7.5.1.4 При сильном ветре и сильном волнении могут возникать проблемы с устойчивостью из-за асимметричной нагрузки и, как следствие, подъема по вертикали центра тяжести плавучих конструкций из-за скопившегося льда.

7.5.2 Предотвращение негативных последствий брызгового обледенения

Нарастание льда можно уменьшить с помощью нагрева, скалывания льда, использования специальных покрытий или мероприятий (например, изменение ориентации объекта в пространстве для уменьшения брызгообразования).

7.5.3 Воздействия льда

7.5.3.1 Нарастание морского обледенения зависит от следующих параметров:

- скорость ветра;
- температура воздуха;
- температура морской воды;
- высота и период волны;
- геометрия конструкции и реакция (отклик) на волнение.

7.5.3.2 Основными процессами в морском брызговом обледенении являются:

- образование брызг;
- перенос брызг;
- перенос тепла воздушным потоком;
- скопление брызг при замерзании.

7.5.3.3 Расчетные модели должны охватывать представленные выше основные процессы и параметры. Для предварительных расчетов допускается использование статистических данных зависимости толщины льда при брызгообледенении от высоты конструкции над уровнем моря и географического положения.

7.6 Воздействия от атмосферного обледенения

7.6.1 При расчете ветровых воздействий следует учитывать увеличение размеров, веса и изменение формы и шероховатости поверхности конструкции вследствие обледенения. Предполагается, что обледенение от осадков происходит на всех поверхностях, обращенных вверх или против ветра. Для трубчатых конструкций можно предположить, что лед покрывает половину окружности.

7.6.2 Следует учитывать возможность падения льда и предусматривать защиту персонала и оборудования.

7.6.3 Воздействия атмосферного обледенения следует определять с учетом локальных условий (температуры морской воды и воздуха, скорости ветра, влажности, формы и расположения элементов конструкции).

7.6.4 Номинальная толщина льда, вызванная обледенением осадков южнее 70° северной широты, может быть принята равной 10 мм с вероятностью превышения 10^{-2} . Эту толщину можно считать постоянной от высоты 5 м над уровнем моря до верха сооружений. Ожидается, что частота и сила атмосферного обледенения увеличатся в более высоких широтах. Севернее 70° северной широты номинальное значение толщины накопленной наледи, вызванной осадками, может быть выбрано равным 20 мм. Если применяются номинальные значения, должна использоваться плотность льда 900 кг/м^3 . При наличии более подробных данных о предельной толщине обледенения для мокрого снега должна быть учтена плотность 500 кг/м^3 , а для ледяного дождя — плотность 900 кг/м^3 .

7.6.5 Для всех типов атмосферного обледенения следует применять критерии предельных состояний по эксплуатационной пригодности и учитывать особенности эксплуатации в зимний период.

7.7 Воздействия от морского льда и айсбергов

7.7.1 Общие положения

7.7.1.1 При анализе воздействия морского льда учитывают как одиночные воздействия льдин, так и воздействия ледяного поля в зависимости от географического расположения проектируемого объекта и при превышении вероятности такого воздействия ледяного поля 10^{-2} и 10^{-4} в год. Воздействия отдельных льдин следует принимать во внимание, если вероятность их появления в зоне установки конструкции превышает 10^{-4} в год.

7.7.1.2 Айсберги могут воздействовать на плавучие сооружения, подводное оборудование и морское дно.

7.7.1.3 Воздействия айсбергов следует учитывать при проектировании, если годовая вероятность столкновения выше 10^{-4} . Для вероятности выше 10^{-5} рекомендуется предусматривать меры по снижению рисков столкновения с айсбергом.

7.7.2 Воздействия морского льда

7.7.2.1 Для учета воздействий морского льда на СПД следует использовать положения ГОСТ Р 58283, СП 38.13330 (см. также [5], [6]) и данные о ледовой обстановке в регионе).

7.7.2.2 Могут быть применены прямые расчеты взаимодействий конструкций СПД с морским льдом с учетом динамических эффектов, данные испытаний моделей в ледовом бассейне или полномасштабных испытаний.

7.7.2.3 Модели, применяемые для расчета удара айсбергом, должны учитывать:

- плотность айсбергов в конкретном регионе;
- размер конструкции;
- среднюю скорость дрейфа айсберга в регионе;
- средний размер айсберга в регионе.

Средняя плотность айсбергов находится в диапазоне от 850 до 910 кг/м³.

7.8 Прочие воздействия

7.8.1 При проектировании СПД учитывают следующие явления и их воздействия (при необходимости):

- расширение воды при замерзании и возможность разрыва сосудов с жидкостью;
- обрастание морскими организмами (увеличение массы, размеров и обтекания с учетом вихреобразования);
- максимальные и минимальные уровни воды с учетом приливов и нагонов;
- просадку морского дна;
- землетрясения.

7.8.2 Можно предположить, что толщина обрастания морскими организмами будет линейно увеличиваться до заданных значений в течение двух лет после того, как конструкция была помещена в море.

7.8.3 Для учета воздействий землетрясений следует применять положения ГОСТ Р 57123.

8 Аварийные воздействия

8.1 Воздействия пожара и взрыва

8.1.1 Оценку воздействия пожара проводят на основе требований ГОСТ Р 12.3.047 и других нормативных документов по пожарной безопасности.

8.1.2 Одной из причин возникновения пожара и взрыва является утечка или выход углеводородов.

8.1.3 Можно выделить следующие основные типы сценариев пожара:

- горящие выбросы из устья скважины;
- пожар, связанный с утечками в райзерах, на манифольдах, погрузочно-разгрузочном, технологическом оборудовании и на плавучих сооружениях.

8.1.4 Для расчета воздействия пожара и взрывов может быть использовано численное моделирование. В этом случае необходимо экспериментальное подтверждение расчетных моделей.

8.1.5 События пожара и взрыва, которые возникают в результате одного и того же сценария выброса горючих веществ и воспламенения, происходят в одно и то же время, т. е. являются полностью зависимыми. Анализ пожара и взрыва следует выполнять с учетом воздействия одного на другой.

8.1.6 Следует учитывать ущерб, нанесенный противопожарной защите в результате взрыва, предшествовавшего возгоранию.

8.2 Ударные воздействия

8.2.1 Ударные воздействия характеризуются кинетической энергией, геометрией тел в зоне удара и взаимодействием тел. Можно рассматривать следующую классификацию ударов:

- удары судами, швартующимися и отходящими от него, включая суда снабжения;
- удары при загрузке танкеров на месторождении;
- удары проходящими мимо объекта судами;
- удары плавучими элементами, например буями;
- удары воздушными судами, выполняющими рейсы к месторождению и обратно;
- удары при падении или соскальзывании предметов;
- удары орудиями рыболовного промысла;
- удары айсбергами и ледовыми полями;
- удары якорями.

8.2.2 Конструктивные элементы должны быть расположены так, чтобы ограничить влияние ударов. Особое внимание следует уделять защите критических компонентов, таких как райзеры, от ударов.

8.2.3 Необходимо проводить проверки ALS при ударах, соответствующих минимальной вероятности превышения 10^{-4} , и при необходимости ULS при ударах с вероятностью превышения 10^{-2} .

9 Реакции на воздействия

9.1 Общие положения

Реакции конструкций СПД (перемещения, деформации или внутренние силы и напряжения) должны фиксировать с учетом их изменения во времени и пространстве. При определении отклика следует учитывать:

- тип конструкции;
- соответствующее предельное состояние и его критерии;
- динамический характер воздействия и отклика;
- возможные нелинейности воздействия и отклика.

9.2 Оценка реакции на внешние воздействия

9.2.1 Методы, применяемые для определения отклика конструкций должны при необходимости учитывать изменение нагрузок во времени (динамические эффекты) и нагрузок в пространстве (в том числе геометрические нелинейности).

При проведении стохастического анализа во временной области может потребоваться учет зависимости коэффициентов демпфирования и присоединенной массы от частоты.

Для оценки демпфирования, волнового воздействия и присоединенной массы для пересечения конструкций большого диаметра следует применять подходящие методы оценки (например, подтвержденные экспериментально).

9.2.2 Отклик на волновые нагрузки и нагрузки от течения может быть определен на основе:

- долгосрочного анализа, основанного на наборе вероятностных состояний морской поверхности;
- набора краткосрочных вероятностных состояний морской поверхности;
- модели расчетной (регулярной) волны с длинным гребнем, для которой заданы высота и длина, или набора регулярных волн с соответствующим учетом скорости течения.

9.3 Экстремальные отклики для ULS

Расчет ULS должен учитывать следующие нежелательные события (где это применимо):

- потеря равновесия конструкцией или ее частью при кинематическом анализе ее движения как твердого тела;
- мгновенное достижение максимальной несущей способности конструкции;
- отказ элементов или соединений, вызванный разрушением, усталостью или другими эффектами, накапливающимися во времени;
- внезапное изменение рассматриваемой схемы конструкции на новую (например, «прощелкивание» при потере устойчивости, образование больших трещин);
- разрушение опорной части;
- потеря остойчивости и плавучести;
- ошибки поддержания неизменного положения.

9.4 Повторяющиеся реакции для оценки

9.4.1 Для оценки усталости металлических конструкций рекомендуется использовать распределение средних напряжений и размаха напряжений.

9.4.2 Основной вклад в усталостные воздействия обычно вносят локальные и глобальные нагрузки от часто возникающих умеренных волн и ветра. Усталостный расчет требует описания долгосрочного изменения локальных напряжений, обусловленных волновыми воздействиями или суммами волновых воздействий разной частоты, переменной плавучестью, нагрузками в зоне периодического смачивания и слеминга судна, волновой вибрацией корпуса судна, образованием вихрей, вызванных волнением, или течением, или механической вибрацией. Следует должным образом учитывать влияние локальных (например, давление) и глобальных воздействий.

9.4.3 Следует учитывать повторяющиеся воздействия во время изготовления, буксировки, установки конструкции, а также временные и постоянные условия на месте. Для конструкций с нефтехранилищем необходимо обращать внимание на повторяющиеся эффекты нагрузки и разгрузки.

9.4.4 Для оценки FLS может быть использована линейно упругая модель конструкции. Следует выполнить динамический анализ отклика, если динамические эффекты значительные. Могут быть применены упрощенные подходы для учета динамических эффектов, например: для опорных частей ферменного типа с низкой степенью динамической чувствительности (период колебаний — менее 2 с).

9.4.5 Прочие компоненты корпуса, связанные с райзерами, направляющими для райзеров, анодами, швартовным оборудованием, следует оценивать по критерию усталостной прочности посредством выполнения локальных анализов. Расчет воздействий на такие компоненты должен быть произведен с использованием скоростей частиц воды и ускорений из дифракционного анализа системы, которые могут повлиять на упомянутые компоненты.

9.5 Анализ ALS

9.5.1 Для ALS следует рассмотреть:

- повреждения конструкции, вызванные случайными воздействиями;
- предельную несущую способность конструкции в целом при ее повреждениях.

9.5.2 Проверку ALS, как правило, проводят при помощи упрощенных методов нелинейного анализа, позволяющих оценить повреждения конструкции и ее предельную прочность в поврежденном состоянии. В частности, расчет повреждений из-за случайных воздействий, таких как столкновения судов и взрывы, может быть основан на пластических механизмах (например, образование пластического шарнира) с учетом возможного преждевременного разрушения. Также может быть использован нелинейный конечно-элементный анализ.

9.6 Моделирование поведения конструкции с использованием метода КЭ

9.6.1 Метод КЭ используют для проведения как глобального расчета сооружения, когда с достаточной точностью моделируется воздействие общих внешних нагрузок, так и локального расчета конструкций, когда учитывают действия местных (локальных) усилий. К локальным воздействиям можно отнести, например, сосредоточенные на малой площади нагрузки, слеминг или гидростатическое давление в емкости.

9.6.2 Рекомендуется оценивать чувствительность анализа к следующим параметрам:

- моделирование граничных условий;
- выбор типа и размера конечного элемента;
- способность модели описывать экстремальные напряжения, особенно для нелинейного анализа или анализа поврежденного состояния;
- влияние и при необходимости моделирование динамических эффектов.

9.6.3 По результатам оценки чувствительности рекомендуется выбирать консервативные модели.

9.6.4 Граничные условия могут различаться для временных и постоянных нагрузок. В обоих случаях рекомендуются накладывать ограничения, наиболее близкие к реальным условиям по результатам проверки чувствительности.

9.6.5 Если при расчете из модели исключены отдельные компоненты конструкции, они также должны быть проверены на действие внешних нагрузок локальным расчетом КЭ или аналитически.

9.6.6 Для учета глобальных откликов в локальных моделях можно использовать:

- передачу на границы локальной модели кинематических или силовых факторов из глобального расчета (субмоделирование);
- включение локальной модели в глобальную;
- использование реакций глобальной модели в качестве граничных условий на локальной модели.

9.6.7 Для нелинейных расчетов можно использовать теорию пластического течения (см. также [7]).

9.6.8 Моделирование зон сжатого материала должно учитывать возможность потери устойчивости, а также возможные дефекты, отклонения или остаточные напряжения, если это оказывает влияние на результат.

9.6.9 В нелинейном анализе следует учитывать зависимость результатов от истории нагружения. Необходимо провести анализ различных возможных комбинаций последовательности приложения нагрузок, рассмотреть все виды отказа разных элементов конструкции и выбрать наихудший вариант истории нагружения.

9.6.10 Критерии локального разрушения (например, отрыва) должны учитывать при использовании в анализе нелинейных свойств материала.

9.7 Динамические отклики

9.7.1 Расчеты с учетом динамики конструкции следует проводить, когда период установившихся воздействий близок к периоду собственных колебаний конструкции или когда конструкция подвергается

кратковременному воздействию. Примерами воздействий, для которых в расчетах следует учитывать динамические эффекты, могут быть:

- воздействия волн на конструкцию с периодом собственных колебаний более 3 с для ULS или 2 с для FLS;
- суммарное частотное волновое воздействие (вызывающее вибрацию «звона», высокочастотные колебания);
- слеминг или другие неустановившиеся волновые воздействия;
- ветровые воздействия на конструкцию с собственными частотами более 0,2 с;
- вибрации, вызываемые вихреобразованием;
- воздействия землетрясений.

9.7.2 Динамический отклик может быть рассмотрен как в частотной, так и во временной области. Обычно линейный отклик для установившихся воздействий моделируют в частотной области, а переходные процессы — во временной области.

Библиография

- [1] Правила классификации и постройки подводных добычных комплексов. РМРС — СПб, 2023
- [2] DNV-RP-C205 Условия окружающей среды и ее воздействия
- [3] NORSOK N-003 Воздействия и реакции
- [4] ИСО 35106 Нефтяная и газовая промышленность. Арктические операции — гидрометеорологические условия, данные по ледовым режимам и свойствам морского дна
- [5] Р 31.3.07-01 Указания по расчету нагрузок и воздействия волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения
- [6] ИСО 19906 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения арктического шельфа
- [7] DNV-RP-C208 Определение несущей способности конструкций нелинейным конечно-элементным анализом

УДК 622.276.04:006.354

ОКС 75.020

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, системы подводной добычи, нагрузки, воздействия, реакции

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 20.12.2024. Подписано в печать 14.01.2025. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,48.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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