



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
747—
2024

Нефтяная и газовая промышленность
СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ
Расчет усталостной прочности системы
подводных колонных головок.
Методические указания

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

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 13 ноября 2024 г. № 94-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», 2024

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 для 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 являются обобщение и систематизация правил и указаний для выполнения расчета усталостной прочности системы подводных колонных головок систем подводной добычи углеводородов.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ

Расчет усталостной прочности системы подводных колонных головок.

Методические указания

Petroleum and natural gas industry. Subsea production systems.
Fatigue analysis methods of subsea wellhead system. Methodology guide

Срок действия — с 2025—01—30
до 2028—01—30

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие правила и указания для выполнения расчета усталостной прочности системы подводных колонных головок систем подводной добычи углеводородов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 23207 Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения

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

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

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

ГОСТ Р ИСО 13628-4 Нефтяная и газовая промышленность. Проектирование и эксплуатация подводных эксплуатационных систем. Часть 4. Подводное устьевое оборудование и фонтанная арматура

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

ПНСТ 720—2023 Нефтяная и газовая промышленность. Системы подводной добычи. Расчет усталостной прочности райзера. Методические указания

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов 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 стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

Издание официальное

1

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 23207, ГОСТ Р 55311 и ГОСТ Р 59304, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 глобальный расчет: Расчет для определения нагрузок на устье скважины вследствие нагрузок от окружающей среды, райзерной системы и связанных с ней перемещений плавучей морской платформы или судна.

3.2 морские течения: Поступательное движение масс морской воды, являющееся векторной величиной и характеризующееся скоростью и направлением либо проекциями вектора скорости на взаимно перпендикулярные направления.

3.3

насосно-компрессорная труба (tubing): Труба, размещаемая в скважине и служащая для подъема продукции скважины или нагнетания рабочей среды.
[ГОСТ ISO 13680—2016, пункт 4.1.9]

3.4

оператор амплитудной характеристики (response amplitude operator, RAO): Отношение движений судна к амплитуде волны, являющейся причиной этих перемещений, в широком диапазоне периодов волны.
[ПНСТ 681—2022, пункт 3.53]

3.5

система динамического позиционирования (dynamic positioning system): Система позиционирования, в которой непрерывное удержание плавучего сооружения над заданной точкой обеспечивается работой движителей и средств активного управления.
[ГОСТ Р 58773—2019, пункт 3.27]

4 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

КК	— колонна кондуктора;
КН	— колонна направления;
МКЭ	— метод конечных элементов;
НКТ	— насосно-компрессорная труба;
ППВО	— подводное противовыбросовое оборудование;
ПФА	— подводная фонтанная арматура;
СПКГ	— система подводных колонных головок;
FD	— частотная область;
SAF	— коэффициент динамичности напряжений (stress amplification factor);
TD	— временная область (time domain);
TZ	— период волны при пересечении нулевого уровня.

5 Общие положения

5.1 Расчет усталостной прочности СПКГ выполняют в соответствии с положениями настоящего стандарта, ГОСТ Р ИСО 13628-4 и ПНСТ 720—2023, см. также [1] и [2].

5.2 При использовании ПФА горизонтального типа необходимо учитывать увеличение общего веса, воздействующего на КК, и смещение центра тяжести ПФА.

5.3 При операциях по заканчиванию скважины также учитывают воздействия, зависящие от типа ПФА (вертикальный или горизонтальный).

5.4 При капитальном ремонте скважины учитывают воздействия на СПКГ, связанные с применением морского райзера. Также работы по капитальному ремонту могут отличаться по продолжитель-

2

ности и виду применяемого оборудования (ППВО, модуль экстренного отсоединения, нижний узел-превентор райзера).

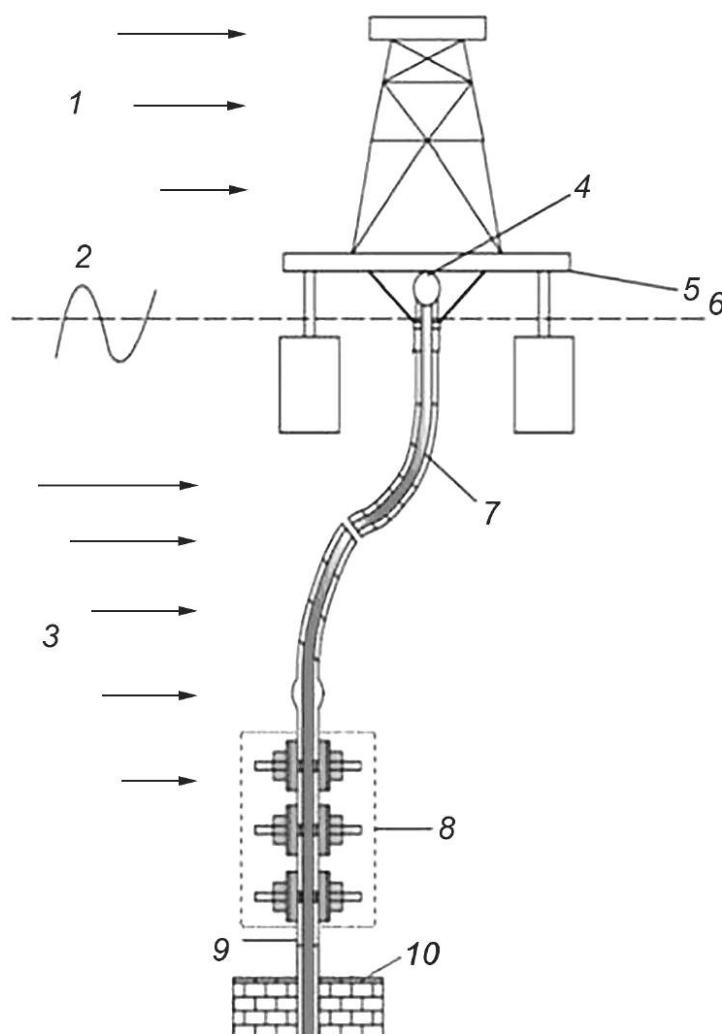
5.5 Критическими воздействиями на СПКГ могут быть нагрузки, передаваемые морской платформой через буровой райзер при бурении скважины, а также при сервисных работах и капитальном ремонте скважины.

6 Воздействия

6.1 Общие сведения

6.1.1 Перемещения ППБУ приводят к циклическим нагрузкам, передаваемым на СПКГ через райзерную систему. Динамические нагрузки должны быть учтены при проведении глобального расчета и являются входными данными для оценки усталостной прочности СПКГ. Общая схема взаимодействия ППБУ (через буровой райзер) и СПКГ приведена на рисунке 1.

6.1.2 Оценку влияния ледовых условий при расчете усталостной прочности СПКГ выполняют с учетом ГОСТ Р 57148.



1 — воздействия ветра; 2 — воздействия волн; 3 — воздействия течений; 4 — система натяжения и компенсации райзера; 5 — ППБУ; 6 — уровень моря; 7 — буровой райзер; 8 — ППВО; 9 — СПКГ; 10 — донное основание

Рисунок 1 — Общая схема взаимодействия ППБУ и СПКГ

6.2 Полупогружная буровая установка

6.2.1 Воздействия ППБУ учитывают в соответствии с ПНСТ 614—2023 и ГОСТ Р 57148.

6.2.2 Колебания ППБУ, как правило, характеризуются RAO, которые определяют как величину, так и запаздывание по фазе отклика судна на волну в диапазоне периодов. Выбранный диапазон и интервал между периодами волн (для которых даны RAO) должны быть достаточными для охвата всех перемещений буровой установки для всех оцениваемых состояний моря.

6.3 Система натяжения и компенсации райзера

При расчете усталостной прочности СПКГ учитывают систему натяжения и компенсации райзера, которая оказывает влияние на нагрузки, передающиеся на устье скважины.

6.4 Водоотделяющая колонна

Водоотделяющая колонна обладает нелинейными вязкоупругими свойствами и оказывает динамические нагрузки на СПКГ.

6.5 Нижний блок райзера

6.5.1 Нижний блок райзера имеет значительную массу, жесткость, а также значительную площадь поверхности, на которую действуют гидродинамические силы.

6.5.2 В случае применения водоотделяющей колонны нижним блоком райзера является ППВО.

7 Методические указания

7.1 Общие сведения

7.1.1 Цель расчета усталостной прочности СПКГ — прогнозирование усталостного повреждения компонентов СПКГ за срок службы скважины. Для этой цели в расчетных моделях учитывают условия эксплуатации и воздействия на СПКГ, прогнозирование усталостных характеристик, которые затем объединяются со свойствами материалов и моделями накопления повреждений.

7.1.2 На самом высоком уровне этот процесс может быть проиллюстрирован простой блок-схемой, как показано на рисунке 2. Исходные данные для расчета включают условия окружающей среды, эксплуатационные данные, описания системы и свойства материалов. Процесс расчета состоит из:

- вычисления циклических нагрузок, испытываемых СПКГ;
- связи циклических нагрузок с циклическими напряжениями для каждого рассматриваемого участка;
- использования модели развития повреждений для расчета усталостной стойкости в каждом рассматриваемом участке.

7.1.3 На рисунке 3 а) показан алгоритм расчета, в котором модели глобального и локального расчета объединяются для определения откликов системы. Также глобальный и локальный расчеты могут выполняться отдельно, как показано на рисунке 3 б).

Процесс расчета усталостной прочности СПКГ может включать различные методы в зависимости от степени интеграции или дискретизации между различными моделями расчета и в зависимости от задач (приложение А). Выбираемые методы должны учитывать воздействия, влияющие на усталостные характеристики, включая нелинейное поведение. Учитывают воздействия на следующие зоны СПКГ:

- сварные швы и изменения толщины удлинительной трубы КН и колонной головки КН;
- сварные швы и изменения толщины на удлинительной трубе КК и колонной головки КК;
- внешние угловые сварные соединения у подъемных скоб, проушин и кронштейнов;
- зоны обеспечения жесткой фиксации между колонными головками КН и КК;
- механические соединительные муфты (и соответствующие сварные швы) вдоль обсадных колонн;
- изменения геометрии в основном материале компонентов СПКГ или обсадных колонн, например профильные канавки для стыковки с соединительными муфтами или инструментов для спуска, резьбы;
- соединение райзерной системы и колонной головки КК;
- сварные швы вблизи верхнего уровня цемента;
- контактную поверхность с донным основанием.

При выполнении расчета в общем случае геометрия райзерных систем, СПКГ и обсадных колонн должна быть упрощена с сохранением детализации предполагаемых критических участков, подверженных усталостному воздействию для прогнозирования локальных напряжений.



Рисунок 2 — Алгоритм расчета усталостной прочности СПКГ

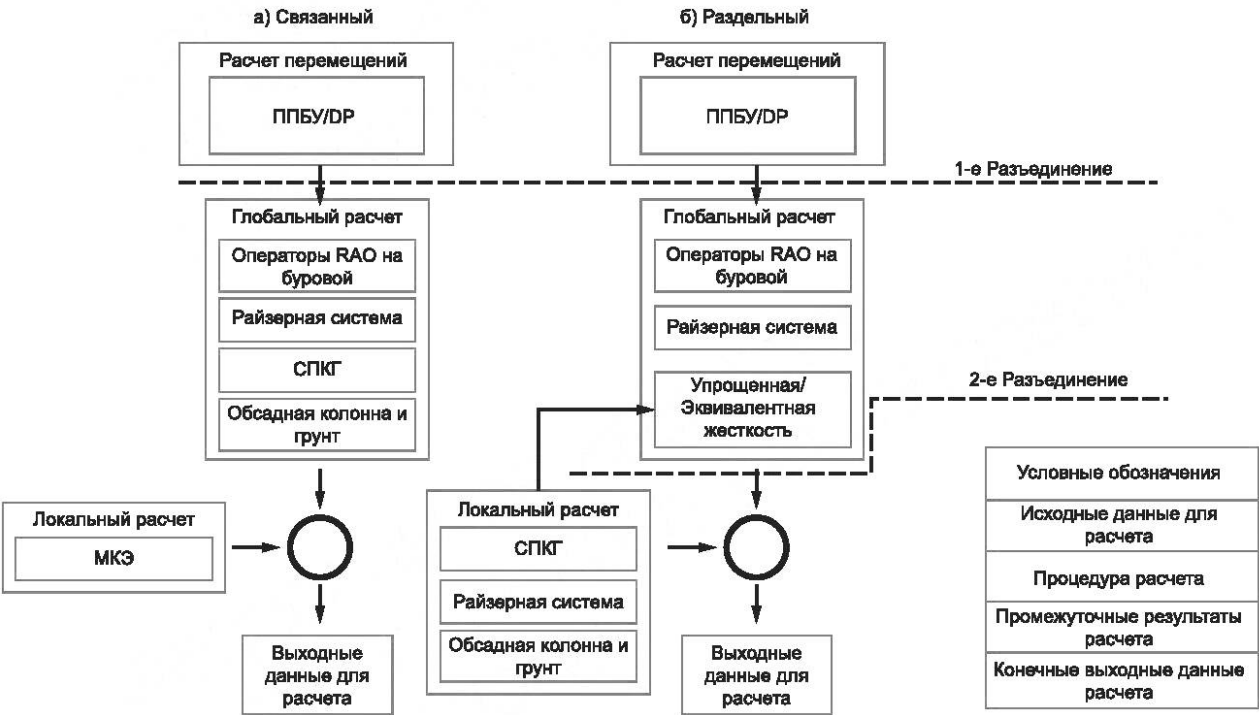


Рисунок 3 — Алгоритмы связанного и раздельного выполнения глобального и локального расчетов

7.2 Средние значения воздействий

Средние значения воздействий могут оказывать существенное влияние на глобальный отклик системы, например на периоды собственных перемещений и так далее, а также на локальный отклик, например на функции SAF. Средние значения воздействий, влияющих на отклик системы, включают:

- среднее натяжение райзера: может влиять на средние изгибающие усилия и жесткость системы;
- средние (фоновые) течения: могут вызывать демпфирование и средние изгибающие усилия;
- среднее смещение судна: может влиять на натяжение райзера, средние изгибающие усилия и открытие/закрытие зазора;
- жесткость гибкого соединения: может зависеть от среднего угла;
- последовательность строительства скважины (включая массу подвешенных обсадных колонн и угол наклона установки СПКГ) и предварительную нагрузку (преднатяг) в СПКГ. Частичная или полная потеря преднатяга в СПКГ (из-за динамических нагрузок) может влиять на передачу нагрузки и критические участки, подверженные усталостному воздействию;
- начальные зазоры/отверстия в СПКГ/донное основание, а также последующие изменения, вызванные динамическими нагрузками: могут влиять на жесткость системы;
- отклик грунта может зависеть от среднего смещения, т. е. на него могут влиять средние нагрузки.

7.3 Свойства грунта

Свойства грунта — критические исходные данные в системном расчете для описания реакции СПКГ во время выполнения работ. Наиболее распространенный способ моделирования взаимодействия грунта и конструкции — использование ряда дискретных нелинейных пружин, применяемых на глубинах вдоль обсадной колонны КН. В расчетах следует учитывать способ установки обсадной колонны КН: гидравлическим методом/методом вращения (наличие воздействия грунта по диаметру обсадной колонны КН) или бурением с последующим цементированием (наличие воздействия грунта по диаметру открытого ствола).

7.4 Уровень цемента

Отклик системы чувствителен к наличию или отсутствию цемента между обсадными колоннами. Необходимо рассчитывать фактические уровни цемента или выполнять исследования вариантов подъема уровня цемента в межколонном пространстве. Особое значение имеет присутствие цемента (верхний уровень) в зоне сварного шва удлинительного патрубка и соединительной муфты КК/КН.

Основное влияние цемента заключается в передаче радиальных нагрузок между обсадными колоннами. Вторичным влиянием цемента является трение, передача осевой нагрузки и жесткость самого цемента.

7.5 Представление результатов

Нагрузки, передающиеся на СПКГ, и напряжения могут быть представлены в любом из следующих форматов, независимо от выбранного метода расчета:

- временная зависимость;
- гистограммы;
- статистические значения.

В виде временной зависимости представляются результаты о чередовании нагрузок и их средних значениях, а также результаты расчета в TD или в FD.

В форме гистограмм указываются:

- чередование откликов системы;
- информация о средних значениях нагрузок;
- подсчет циклов по общим напряжениям, учитывающим чередование нагрузок, но не влияние средних значений данных нагрузок.

В виде гистограмм представляются результаты, обработанные спектральным методом.

В форме статистических значений указываются:

- перечни средних квадратических значений, среднего периода и периода волны при пересечении нулевого уровня по направлению вверх (TZ) для каждой комбинации типа отклика и уникального бин-сегмента погодных условий;
- чередование откликов без учета компонентов нагрузок.

7.6 Глобальный расчет

7.6.1 Общие сведения

7.6.1.1 При глобальном расчете воздействий на СПКГ используют решения TD или FD и положения ПНСТ 720—2023, см. также [1].

7.6.1.2 Для каждого типа решения спектр волн следует структурировать с достаточным диапазоном и числом частотных составляющих, то есть с выбранным спектральным составом и шагом по времени для того, чтобы:

- представить спектральный характер состояния моря;
- учесть собственные частоты системы;
- отражать изменение перемещений судна в соответствии с частотой.

7.6.2 Временная область

Расчет в TD включают моделирования: изменения во времени характеристик волны и правильного определения изменения во времени отклика и статистических характеристик. Для этого необходимо выполнять следующее:

- поддерживать независимость сигнала путем выбора продолжительности моделирования;
- выбрать соответствующее время нарастания для приложения нагрузок/перемещений и обеспечить дополнительное время моделирования для затухания начальных переходных процессов;
- располагать достаточным объемом выборки путем выбора продолжительности моделирования относительно наибольшего периода собственных перемещений буровой установки или системы «платформа-райзер-устье».

7.6.3 Частотная область

Расчет нелинейных систем с использованием методов FD включает рассмотрение следующего:

- гидравлического сопротивления;
- эффектов нелинейной жесткости.

7.6.4 Операторы амплитудных характеристик отклика

РАО ППБУ/судна могут носить критический характер при прогнозировании откликов присоединенного райзера и могут вызывать резонансный отклик СПКГ и, следовательно, оказывать влияние на усталостное повреждение СПКГ.

РАО ППБУ/судна зависят от направления движения волны; поэтому следует рассматривать РАО для всех условий эксплуатации.

7.7 Райзерная система

7.7.1 Осевая жесткость и жесткость при изгибе

Выбор осевой жесткости и жесткости при изгибе влияет на прогнозируемые смещения райзера и, следовательно, на нагрузку, прикладываемую к СПКГ.

7.7.2 Водоотделяющая колонна

Во время проведения операций в буровом райзере используются:

- буровая колонна и обсадная колонна в течение последовательного выполнения строительных работ на скважине;
- колонна для спуска, то есть компонент блока райзера для заканчивания/капитального ремонта скважин во время выполнения работ по заканчиванию или капитальному ремонту;
- колонна с гибкими НКТ внутри колонны для спуска.

Вес вышеуказанных колонн, как правило, поддерживается системой компенсации буровой установки. Сила трения между двумя колоннами в большинстве случаев использования пренебрежительно мала. По этим причинам такие компоненты не оказывают существенного влияния на осевую жесткость райзерной системы.

7.7.3 Граничные условия

Райзерная система оканчивается на СПКГ, а СПКГ/обсадные колонны в свою очередь взаимодействуют с грунтом. Существует ряд методов моделирования взаимодействия грунта и СПКГ/обсадных колонн в виде граничного условия в модели глобального расчета. Примеры используемых методов включают:

- набор нелинейных горизонтальных пружин по длине обсадной колонны колонны направления (эквивалентные балочные конечные элементы);
- набор(ы) линеаризованных горизонтальных пружин по длине обсадной колонны колонны направления;

- эквивалентную модель жесткости СПКГ для оценки при взаимодействии грунта и обсадной колонны;
- эквивалентные горизонтальные нагрузки на уровне морского дна;
- точку закрепления ниже уровня морского дна.

7.8 Расчет

7.8.1 Оценка усталости с использованием S-N-кривых

При расчете усталостной прочности СПКГ применяют положения ПНСТ 720—2023 и расчет с использованием S-N кривых, основанный на циклах напряжений с постоянной амплитудой, многоциклового усталостной прочности и гипотезе линейного накопления повреждения.

7.8.2 Механика разрушения

Усталостная прочность также может рассчитываться с помощью оценки, основанной на механике разрушения, в которой предполагается, что первоначальный дефект находится в перенапряженных областях конструкции. Представляя дефект как остроконечную трещину и ориентируя ее в соответствии с максимальным циклическим напряжением, можно прогнозировать скорость роста трещины как функцию от приложенной нагрузки, учитывая, при необходимости, давление на поверхности трещины.

Приложение А
(справочное)

Процесс расчета усталостной прочности СПКГ в зависимости от степени интеграции или дискретизации между различными моделями расчета

Т а б л и ц а А.1 — Процесс расчета усталостной прочности СПКГ

Буровая установка	Плавучая буровая установка		Плавучая морская платформа (судно)
Райзер	Бурение	Заканчивание/капитальный ремонт	Добыча
Глобальная модель «платформа-райзер-устье»:			
Окружающая среда	Волны	Течение	Прочее (VIV, VIM, низкие частоты)
Направленность	Многонаправленный	Плоский	Распределение волн
Перемещение	Сопряженные перемещения		Управляемые RAO
Решение	Временной интервал		Частотная область
Среднее смещение буровой установки	Единичное предполагаемое смещение для всех состояний моря		Определено для каждого состояния моря
Модель райзера	Полностью интегрированная		Глобальная/локальная
Система натяжных приспособлений	Предполагается постоянное натяжение		Изменение натяжения
Поперечное сечение райзера	Эквивалентное сечение		Дискретное представление труб/колонн
Гибкое соединение	Линейно статичное	Нелинейно статичное	Динамические эффекты
Нижнее граничное условие/грунт	Дискретные P-Y пружины		Эквивалентная жесткость
Нагрузки на устье скважины	Временной график	Гистограмма	Среднее квадратическое значение TZ

Библиография

- [1] DNV-RP-E104 Расчет усталостной прочности системы подводных колонных головок (Wellhead fatigue analysis)
- [2] Effects of BOP Stack Modelling on Estimated Wellhead Fatigue Damage. Norwegian University of Science and Technology, 2013

УДК 622.276.04:006.354

ОКС 75.020

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, системы подводной добычи, система подводных колонных головок, усталостная прочность

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 15.11.2024. Подписано в печать 03.12.2024. Формат 60×84%. 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