



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
XXXXX—
XXXX

*(Проект, окончательная
редакция)*

(ISO 19901–7:2013)

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Системы позиционирования плавучих сооружений

(ISO 19901-7:2013,
Petroleum and natural gas industries —
Specific requirements for offshore structures —
Part 7: Stationkeeping systems for floating offshore structures
and mobile offshore units, MOD)

Настоящий проект не подлежит применению до его утверждения



Москва
Стандартинформ
2018

Предисловие

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

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

3 УТВЕРЖДЕН и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «___» _____ 20__ г. № _____

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-7:2013 «Промышленность нефтяная и газовая. Специальные требования к морским платформам. Часть 7: Системы удержания плавучих морских платформ и передвижных морских оснований» (ISO 19901-7:2013 «Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 7: Stationkeeping systems for floating offshore structures and mobile offshore units») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

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

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона «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 текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет (www.gost.ru).

© Стандартинформ, 2018

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

Содержание

1	Область применения	6
2	Нормативные ссылки	7
3	Термины и определения	7
4	Обозначения	9
5	Сокращения	10
6	Общие положения	10
6.1	Функциональные требования	10
6.2	Требования безопасности	10
6.3	Требования к планированию	11
6.4	Требования к инспектированию и техническому обслуживанию	11
6.5	Инструменты анализа	11
7	Технические требования	11
7.1	Уровни воздействия	11
7.2	Предельные состояния	12
7.3	Определение расчетных ситуаций	12
7.4	Расчетные ситуации	12
8	Воздействия	15
8.1	Общие требования	15
8.2	Требования к гидрометеорологическим данным площадки установки	15
8.3	Воздействие природных факторов на якорные линии	16
8.4	Косвенное воздействие	17
9	Анализ систем позиционирования	19
9.1	Общие требования	19
9.2	Смещение плавучего сооружения	20
9.3	Реакция плавучего МНГС и плавучих сооружений	21
9.4	Реакция якорных линий	26
9.5	Натяжение якорных линий	26
9.6	Ограничения по длине и геометрии линии	27
9.7	Усилия позиционирования	27
9.8	Анализ и оценка стационарной системы позиционирования	28
9.9	Системы динамического позиционирования	28
9.10	Анализ переходных процессов движения плавучего сооружения	30
10	Усталостный анализ систем позиционирования	30
10.1	Общие требования	30
10.2	Усталостная прочность	31
10.3	Процедура усталостного анализа	33
11	Расчетные критерии	37
11.1	Смещение плавучего сооружения	37
11.2	Ограничение натяжения линии	37
11.3	Длина участков якорных линий, находящихся на дне	37
11.4	Системы постановки на якорь	37
11.5	Коэффициент запаса усталостной прочности	40
11.6	Коррозия и износ	40
11.7	Расстояния безопасности	40
11.8	Поддерживающие конструкции	41
12	Оборудование систем позиционирования	41
12.1	Элементы якорных линий	41
12.2	Лебедки	42
12.3	Оборудование для мониторинга	42
13	Мониторинг технического состояния, инспектирование и техническое обслуживание	43
13.1	Общие положения	43
13.2	Мобильные системы позиционирования	43
13.3	Стационарные системы позиционирования	43
14	Системы динамического позиционирования	45
14.1	Введение	45
14.2	Проектирование и анализ	45
14.3	Проектирование, испытания и техническое обслуживание	46

14.4	Персонал	46
14.5	Определение удерживающей способности.....	47
15	Система позиционирования с применением синтетических тросов	47
15.1	Общие требования	47
15.2	Анализ систем позиционирования с применением волоконных тросов.....	47
15.3	Усталостный анализ	48
15.4	Исследование сползания тросов.....	48
15.5	Расчетные критерии	49
15.6	Модельные испытания	50
Приложение А (справочное) Дополнительная информация и рекомендации		51
Библиография		140

Введение

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

Формирование комплекса стандартов по морским нефтегазопромысловым сооружениям, в соответствии с основами национальной стандартизации и принципами гармонизации документов национальной системы стандартизации с международной, осуществляется на основе применения международных стандартов, отражающих передовой зарубежный опыт, лучшие мировые практики и современные методики проектирования. При этом для повышения научно-технического уровня комплекса национальных стандартов, учета особенностей объекта и аспекта стандартизации, которые характерны для Российской Федерации в силу климатических и географических факторов, а также для учета накопленного отечественного опыта проектирования, строительства и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений, техническое содержание национальных стандартов модифицировано по отношению к применяемым международным стандартам.

При разработке настоящего национального стандарта также использована модифицированная форма применения международного стандарта, которая определена необходимостью внесения технических отклонений, изменения структуры и их идентификации.

Целью разработки настоящего стандарта является обеспечение безопасности при выполнении работ по освоению морских месторождений, расположенных на континентальном шельфе (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации, за счет установления требований и принципов в отношении выбора, оценки и проектирования систем позиционирования плавучих морских нефтегазопромысловых сооружений.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-7:2013 «Промышленность нефтяная и газовая. Специальные требования к морским платформам. Часть 7: Системы удержания плавучих морских платформ и передвижных морских оснований» (ISO 19901-7:2013 «Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 7: Stationkeeping systems for floating offshore structures and mobile offshore units») и разработан в развитие требований нормативных положений основополагающего ГОСТ Р 54483-2011 (ИСО 19900:2002) «Нефтяная и газовая промышленность. Платформы морские для нефтегазодобычи. Общие требования».

Положения, учитывающие особенности национальной стандартизации и специфику национальной практики в области эксплуатации систем позиционирования плавучих сооружений, проектирования и строительства морских нефтегазопромысловых сооружений, приведены в дополнительных пунктах 8.2.8 «Морской лед», 8.3.3.1.1 «Управление ледовой обстановкой» и терминологических статьях: 3.16 «полупогружная плавучая буровая установка», 3.21 «уровень воздействия», 3.22 «плавучий нефтегазодобывающий комплекс», 3.23 «точечный причал», 3.24 «поверхность морского дна».

Эти дополнительные положения заключены в рамки из тонких линий. Пункт 8.2.8 добавлен в связи с необходимостью учета при проектировании систем позиционирования природно-климатических особенностей расположения континентального шельфа Российской Федерации, связанной с низкими температурами окружающей среды и наличием льда на акватории установки МНГС. Пункт 8.3.3.1.1 включен в целях учета при проектировании систем позиционирования, эксплуатирующихся на акваториях с ледовым режимом, систем управления ледовой обстановкой, обеспечивающих снижение интенсивности или полного исключения воздействий на якорные линии и удерживаемые плавучие МНГС со стороны ледяных образований. Терминологические статьи 3.16, 3.21, 3.22, 3.23 и 3.24 добавлены, поскольку определяемые термины находят применение в настоящем стандарте.

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

НЕФТЯНАЯ И ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Сооружения нефтегазопромысловые морские. Системы позиционирования плавучих сооружений

Petroleum and natural gas industry.
Offshore oil and gas field structures. Stationkeeping systems for floating structures

Дата введения – (год-месяц-число)

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования, предъявляемые к выбору, проектированию, анализу и оценке, с учетом условий площадок установки, систем позиционирования плавучих сооружений: **плавучих МНГС и плавучих сооружений, осуществляющих геологоразведочные, сервисные и монтажные работы, устанавливаемых на континентальном шельфе (в том числе на акваториях с ледовым режимом), в территориальном море и внутренних водах Российской Федерации.**

Настоящий стандарт распространяется на:

а) стационарные системы позиционирования плавучих МНГС, **зафиксированных на месторождении на весь период его эксплуатации**, и имеющих следующее функциональное назначение:

- буровые;
- добывающие;
- технологические;
- для хранения и отгрузки продукции скважин;
- **для размещения персонала;**
- **прочие (возможно совмещение различных функций на одном сооружении).**

б) мобильные системы позиционирования плавучих МНГС и плавучих сооружений, **осуществляющих геологоразведочные, сервисные и монтажные работы** (ППБУ, трубоукладочные суда и т.п.).

Настоящий стандарт применим ко всем аспектам жизненного цикла систем позиционирования и включает требования, относящиеся к производству элементов систем, а также содержит рекомендации по техническому контролю в процессе эксплуатации.

Настоящий стандарт распространяет свои требования на следующие типы систем позиционирования:

- пространственные системы позиционирования (системы с провисающими якорными линиями, системы с натянутыми якорными линиями и системы с частично натянутыми якорными линиями),
- одноточечные системы позиционирования (подсоединение к морскому точечному причалу, удерживаемому пространственной системой позиционирования);
- системы динамического позиционирования (удержание при помощи работы движителей и средств активного управления (подруливающих устройств));
- комбинированные системы (удержание при помощи совместной работы якорных линий и движителей).

Описание характеристик и стандартных элементов данных систем представлено в Приложении А.

В рамках настоящего стандарта основные требования сформулированы для пространственных и однотоочечных систем позиционирования с якорными линиями из стальных цепей и стальных канатов. При этом стандарт содержит требования по применению в системах позиционирования якорных линий из волоконных канатов, а также дополнительные требования к свойствам волоконных канатов.

Требования настоящего стандарта также могут распространяться на одноякорные системы позиционирования и другие однотоочечные системы позиционирования, при условии, что эти требования применимы

Действие настоящего стандарта не распространяется на вертикальные системы позиционирования плавучих сооружений на натяжных связях.

Изложенные в стандарте методологии последовательного анализа систем позиционирования плавучих сооружений с учетом гидрометеорологических условий площадки установки, характеристик плавучего сооружения, а также других факторов могут использоваться для определения соответствия проектируемых систем позиционирования функциональным требованиям настоящего стандарта.

При проектировании, строительстве и эксплуатации систем позиционирования под техническим наблюдением Российского морского регистра судоходства следует выполнять требования [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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 57555-2017 Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские Верхние строения

ГОСТ Р ИСО 19904-1 (проект) Нефтяная и газовая промышленность. Сооружения нефтегазопромысловые морские. Однокорпусные суда, полупогружные платформы и платформы цилиндрического вида

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

3 Термины и определения

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

3.1 воздействие (action): Явление, вызывающее внутренние силы в элементах конструкции.

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.6]

3.2 эффект воздействия (action effect): Последствия воздействий нагрузок на конструктивные элементы сооружения.

Пример – Внутренние силы, моменты, усилия, напряжения, движения твердого тела или упругие деформации.

3.3 система позиционирования с провисающими якорными линиями (catenary mooring): Система, в которой непрерывное удержание плавучих сооружений относительно заданной точки обеспечивается распределенным весом якорных линий.

3.4 нормативное значение (characteristic value): Значение, устанавливаемое нормативными документами исходя из условий заданной обеспеченности или принятое по номинальному значению.

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.18]

3.5 расчетные критерии (design criteria): Количественные определения, описывающие условия, которые должны выполняться для каждого предельного состояния.

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.28]

3.6 расчетный срок службы (design service life): Принятый период времени, в течение которого конструкцию будут использовать по назначению с предусмотренным техническим обслуживанием.

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.30]

3.7 расчетная ситуация (design situation): Учитываемый в расчете комплекс условий, определяющий расчетные требования к конструкциям.

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.29]

3.8 динамическое воздействие (dynamic action): Воздействие, вызывающее ускорение сооружения или его элементов, значение которого необходимо учитывать.

3.9 система динамического позиционирования (dynamic positioning): Система, в которой непрерывное удержание плавучих сооружений относительно заданной точки обеспечивается работой двигателей и средств активного управления (подруливающих устройств)/

3.10 ожидаемое значение (expected value): Статистический момент первого порядка плотности распределения вероятности для рассматриваемой переменной, который в случае параметра с временной зависимостью может быть ассоциирован с конкретным базовым периодом/

3.11 целевая пригодность (fit-for-purpose): Соответствие требованиям действующей нормативных документов в части обеспечения общей целостности, безопасности эксплуатации и охраны окружающей среды.

3.12 плавучее сооружение (floating structure): Объемная строительная конструкция, способная перемещаться по воде в надводном или подводном положении.

3.13 предельное состояние (limit state): Состояние, при котором сооружение в целом или его элементы перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям (расчетным критериям), требованиям при производстве работ (строительстве) или находятся в состоянии, при котором их дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление их работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

3.14 техническое обслуживание (maintenance): Комплекс мероприятий, выполняемых в течение расчетного срока службы сооружения (конструкции) для обеспечения ее целевой пригодности.

3.15 мобильная система позиционирования (mobile mooring system): Система позиционирования плавучих сооружений, обеспечивающая ее установку для временного проведения кратковременных работ на площадке установки (геологоразведочные, сервисные и монтажные).

3.16 полупогружная плавучая буровая установка (semi-submersible floating drilling unit): Плавучая буровая установка, имеющая балластные емкости, предназначенные для регулирования уровня погружения ее корпуса в рабочем положении, и оснащенная системой позиционирования для ограничения ее горизонтальных смещений в установленных пределах.
--

Примечание – В качестве системы позиционирования допускается применять якорную систему позиционирования, систему динамического позиционирования или комбинированную систему позиционирования.

3.17 стационарная система позиционирования (permanent mooring system): Система позиционирования плавучих сооружений устанавливаемая на месторождении на весь период его эксплуатации.

3.18 стояк (райзер) (riser): Трубопровод, используемый для соединения оборудования подводного обустройства с МНГС.

3.19 конструкция (structure): Организованная комбинация соединенных между собой элементов, выполняющих несущие, оградительные, либо совмещенные функции

[ГОСТ Р 54483-2011, статья 3.13]

3.20 система позиционирования с натянутыми якорными линиями (taut-line mooring): Система, в которой непрерывное удержание плавучих сооружений относительно заданной точки обеспечивается за счет упругой деформации якорных линий.

3.21 уровень воздействия (exposure level): Система классификации, устанавливающая требования для сооружений, основанная на рассмотрении последствий разрушения сооружений на безопасность жизни, окружающей среды и экономических потерь.

3.22 плавучий нефтегазодобывающий комплекс (floating oil and gas production complex): Плавучее морское нефтегазопромысловое сооружение судовой, понтонной или иной формы с системой позиционирования на точке эксплуатации, предназначенное для осуществления одной или нескольких функций: бурения, добычи, приема, хранения, подготовки и отгрузки продукции в зависимости от выбранной технологической схемы.

3.23 точечный причал (single point mooring): Морское нефтегазопромысловое сооружение, предназначенное для швартовки танкеров или плавучих нефтегазодобывающих комплексов и отгрузки продукции в условиях открытого моря или рейда.

3.24 поверхность морского дна (sea floor): Поверхность контакта толщи воды и грунтового основания.

4 Обозначения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

C - коэффициент (безразмерные, если не указано иное)

D - годичное усталостное разрушение, лет⁻¹

d - диаметр линии или элемента, м

F - прямое воздействие, Н, либо прямое воздействие на единицу длины, Н/м

f - частота, Гц

K - показатель усталости (безразмерный, если не указано иное)

k - осевая жесткость, Н/м

L - расчетный срок службы, лет

l - длина, м

M - масса, кг

m - обратный уклон кривых усталости T-N или S-N

N - общее количество (допустимое), циклы

n - годовое количество циклов, лет⁻¹

P - вероятность возникновения события

S - смещение или перемещение, м

S_R - размах напряжений, МПа

s - стандартное отклонение

T - растягивающее усилие, Н или безразмерный коэффициент натяжения

t - время, период или продолжительность, с

v - скорость, м/с
 W - масса тела в жидкости, Н или масса на единицу длины, Н/м
 Γ - гамма-функция
 γ - расчетный коэффициент надежности
 δ - параметр полосы частот применительно к частоте волн
 ε - годовая ползучесть металла, % в год
 σ - отношение стандартного отклонения вариаций натяжения от среднего значения к эталонной нагрузке на разрыв
 ρ - плотность, кг/м³

5 Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

МНГС – **морское нефтегазопромысловое сооружение;**

ППБУ – **полупогружная плавучая буровая установка;**

ПНК – **плавучий нефтегазодобывающий комплекс;**

РМРС – **федеральное автономное учреждение «Российский морской регистр судоходства»;**

ALS (accidental limit state) – предельное состояние по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций;

FLS (fatigue limit state)) – предельное состояние по критерию усталостной прочности;

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

ULS (ultimate limit state) – предельное состояние по критериям несущей способности.

6 Общие положения

6.1 Функциональные требования

Назначением системы позиционирования является удержание плавучего сооружения в определенной точке с ограничением горизонтальных смещений в заданных пределах и обеспечением нормальных условий для выполнения технологических процессов.

Ограничения по горизонтальным смещениям и ориентации плавучего МНГС устанавливаются заказчиком **в задании на проектирование** или определяются при проектировании системы позиционирования в целях обеспечения:

- безопасности персонала;
- защиты окружающей среды;
- устойчивости и ремонтпригодности плавучего сооружения;
- ремонтпригодности оборудования верхних строений,
- целостности и ремонтпригодности буровых, добывающих, транспортных или других типов райзеров;
- безопасных расстояний до расположенных рядом других сооружений и обеспечения доступа подводным и надводным частям сооружений **для контроля и осмотра**.

Соответствие проектируемой системы позиционирования указанным требованиям должно быть обеспечено применением методологий последовательного анализа, изложенных в разделах 9 и 10 и критериях проектирования, представленных в разделе 11. Внешние воздействия на плавучее сооружение, такие как линейное растяжение, смещение сооружения и удерживающие усилия якорных линий должны быть оценены для всех допустимых расчетных ситуаций и сопоставлены с сопротивлением системы позиционирования и ее элементов для определения запаса прочности для сопротивления разрыву якорных линий, исключения превышения допустимых смещений сооружения, сползания якоря или возникновению других нежелательных событий.

6.2 Требования безопасности

Безопасность жизни и здоровья персонала, сохранность имущества и охрана окружающей среды должны быть основными принципами проектирования систем позиционирования и обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- проектированием и оценкой систем позиционирования с учетом воздействий окружающей среды или других внешних воздействий, которые могут возникнуть в период расчетного срока службы плавучих МНГС и систем их позиционирования;
- проектированием и оценкой систем позиционирования с учетом условий площадки установки в период постановки плавучих МНГС и сооружений, **осуществляющих геологоразведочные, сервисные и монтажные работы**;
- определением безопасных процедур эксплуатации в целях выявления и минимизации рисков травматизма персонала;
- идентификации и оценкой вероятных опасных событий и снижения их последствий;
- выполнением оценки риска для исключения возможных отказов, создающих угрозу жизни персонала или нарушению конструктивной целостности;
- выполнением применимых требований безопасности, изложенных в ГОСТ Р ИСО 19904-1 (проект).

Данные мероприятия должны быть выполнены при проектировании систем позиционирования, их оценке, а также при разработке принципов их эксплуатации.

6.3 Требования к планированию

Планирование должно быть выполнено до начала работ по проектированию или оценке систем позиционирования в целях обеспечения способности системы выполнять свое назначение в соответствии с функциональными требованиями, изложенными в подразделе 6.1. Начальное планирование должно включать определение всех условий и критериев, в соответствии с общими требованиями и условиями, изложенными в **ГОСТ Р 54483**.

6.4 Требования к инспектированию и техническому обслуживанию

В дополнение к требованиям, изложенным в подразделе 6.3, на этапе планирования должны быть разработаны и задокументированы основополагающие принципы инспектирования и технического обслуживания, обеспечивающие поддержание конструктивной целостности систем позиционирования и их ремонтпригодность на протяжении расчетного срока службы. Оценка способности систем позиционирования выполнять свое функциональное назначение должна быть подтверждена посредством проведения инспектирования и технического обслуживания. Соответствующие требования, относящиеся к инспектированию и техническому обслуживанию изложены в разделе 1313.

6.5 Инструменты анализа

Последовательный анализ систем позиционирования должен выполняться по методикам, изложенным в настоящем стандарте. Реализация методик анализа также может быть выполнена на базе апробированных программных комплексов с подтвержденными результатами данных.

7 Технические требования

7.1 Уровни воздействия

7.1.1 Общие требования

Определение соответствующих расчетных ситуаций и расчетных критериев для конкретных плавучих сооружений, имеющих различные габаритные размеры, уровни **технической и технологической** сложности, функциональные назначения, численности размещаемого персонала, возможные опасности и т.д., должно осуществляться согласно концепции уровней воздействия.

В соответствии с данной концепцией плавучее сооружение, размещенное на конкретной площадке установки, обладает характерным уровнем воздействия. Каждому уровню воздействия соответствуют расчетные ситуации и расчетные критерии применительно к назначению данного сооружения.

Для конкретного плавучего сооружения уровни воздействия определяются с учетом безопасности персонала и последствий возможных отказов. Безопасность персонала является прямой функцией от расчетной численности персонала в ходе природоохранного проектирования. Последствия возможных отказов относятся к потенциальному риску, создающему угрозу жизни

персонала при возникновении опасного события, потенциальному риску нанесения ущерба окружающей среде и потенциальному риску экономических потерь.

Описываемая концепция уровней воздействия и представленные формулировки распространяются только на плавучие МНГС, представленные в перечислении а) раздела 1 настоящего стандарта.

Определение уровней воздействия для плавучих сооружений изложено в **ГОСТ Р ИСО 19904-1**.

7.1.2 Уровни воздействия для систем позиционирования

Значение уровня воздействия, определяемого для стационарной системы позиционирования, не должно быть менее значения уровня воздействия для плавучего МНГС или плавучего сооружения, которое она удерживает.

7.2 Предельные состояния

7.2.1 Общие требования

Общие принципы проектирования МНГС представлены в **ГОСТ Р 54483**. Эксплуатационные характеристики МНГС в целом или его частей необходимо проверять на определенные предельные состояния, при превышении которых конструкция перестает удовлетворять расчетным требованиям.

Для каждого предельного состояния должны быть определены соответствующие расчетные ситуации, модели расчетов, расчетные критерии, и должны выполняться адекватные процедуры с целью верификации соответствия требованиям к проектированию.

7.2.2 Предельные состояния для систем позиционирования

При проектировании должны быть рассмотрены четыре категории предельных состояний в соответствии с требованиями **ГОСТ Р 54483**:

- первая категория предельных состояний ULS (предельное состояние по критериям несущей способности);
- вторая категория предельных состояний SLS (предельное состояние по критериям пригодности к нормальной эксплуатации);
- третья категория предельных состояний FLS (предельное состояние по критериям усталостной прочности);
- четвертая категория предельных состояний ALS (предельное состояние по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций).

7.3 Определение расчетных ситуаций

Для обеспечения функционирования систем позиционирования на протяжении расчетного срока службы в качестве расчетных ситуаций должны быть учтены:

- **функциональное назначение системы позиционирования;**
- эксплуатационные требования к системе позиционирования;
- расчетный срок службы;
- опасные факторы которые могут угрожать системе позиционирования и плавучему МНГС или плавучему сооружению, которое она удерживает;
- потенциальные последствия частичного или полного отказа системы позиционирования;
- природно-климатические особенности расположения площадки установки.

7.4 Расчетные ситуации

7.4.1 Общие требования

Определение и использование параметров гидрометеорологических условий площадки установки для проектирования систем позиционирования необходимо осуществлять в соответствии с требованиями настоящего пункта стандарта и нормативных положений **ГОСТ Р 54483** и **ГОСТ Р 57148**.

Расчетные ситуации должны включать в себя все требования по техническому обслуживанию и эксплуатации, которые необходимы для обеспечения функционирования плавучего МНГС или плавучего сооружения и природных условий, которые могут отрицательно воздействовать на систему позиционирования в соответствии с **ГОСТ Р 54483**.

При проектировании систем позиционирования плавучих сооружений необходимо учитывать воздействия внешних условий окружающей среды с характерными периодами повторяемости (ветер, волны, течения, морской лед, **снег и обледенение**) на плавучее сооружение, стояки или на систему позиционирования.

В случае отсутствия данных по условиям окружающей среды на площадке установки возможно применение экстремальных значений для конкретных географических зон, представленных в **ГОСТ Р 57148**. Данные значения являются усредненными и применимыми для предпроектных стадий проектирования. Перед использованием указанных данных заказчик должен проанализировать их достоверность, а в случае необходимости на завершающей стадии проектирования заменить их на фактические данные по условиям окружающей среды на площадке установки.

Критерии, которым должен удовлетворять проект, могут напрямую быть связаны с конкретными формулировками расчетных ситуаций. В этом случае расчетные ситуации, процесс вычислений и расчетные критерии будут связаны между собой, и не должны отделяться один от другого.

Для стационарных систем позиционирования расчетные ситуации, перечисленные ниже, относятся к системам позиционирования для плавучих сооружений с уровнем воздействия L1 в соответствии с **ГОСТ Р ИСО 19904-1 (проект)**.

7.4.2 Расчетные ситуации для предельного состояния по критериям несущей способности ULS

7.4.2.1 Общие требования

Параметры проектирования с учетом условий окружающей среды должны разрабатываться на основе данных по гидрометеорологическим условиям на площадке установки. Для стационарных систем позиционирования плавучих МНГС и плавучих сооружений данные условия представлены в подпункте 7.4.2.2, для мобильных систем позиционирования в подпункте 7.4.2.3.

7.4.2.2 Стационарные системы позиционирования

7.4.2.2.1 Общие требования

Для стационарных систем позиционирования повторяемость параметров, характеризующих ситуации природоохранного проектирования, должна в несколько раз превышать срок службы системы позиционирования.

Параметры, характеризующие ситуации природоохранного проектирования предельного состояния ULS в настоящем стандарте должны основываться на периоде повторяемости в 100 лет, за исключением случаев, указанных ниже.

7.4.2.2.2 Стационарные системы позиционирования с коротким расчетным сроком службы

В случае, когда расчетный срок службы системы позиционирования составляет менее 20 лет, то возможно применение параметров, характеризующих расчетные ситуации при периоде повторяемости менее 100 лет. В таких случаях повторяемость определяется посредством оценки рисков, учитывая возможные последствия отказа системы позиционирования.

7.4.2.2.3 Стационарные системы позиционирования, рассчитанные на отсоединение

Системы позиционирования могут быть рассчитаны на отсоединение от плавучего сооружения в случае определенных неблагоприятных природных явлений, например, воздействия айсбергов или ураганов. Воздействия на плавучее сооружение от таких неблагоприятных явлений при проектировании по предельным состояниям по критериям несущей способности (ULS), могут игнорироваться в следующих случаях:

- удовлетворены условия предельного состояния по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций (ALS), которые представляют собой неблагоприятное природное явление в сочетании с отказом безопасного отсоединения;

- одновременная вероятность наступления неблагоприятного воздействия окружающей среды и отказа отсоединения системы позиционирования составляет менее чем 10^{-4} в год.

Кроме того, конструкция системы позиционирования также должна быть верифицирована в отношении расчетной ситуации ULS, которая будет состоять из воздействий волн, ветра, течения и льда (если имеется) на систему позиционирования по отдельности (то есть без плавучего сооружения).

7.4.2.2.4 Стационарные системы позиционирования в непосредственной близости от других сооружений

Когда стационарные системы позиционирования находятся в непосредственной близости от других сооружений, то необходимо учитывать более высокую повторяемость параметров расчетной ситуации для систем позиционирования, чтобы учитывать возможные последствия контакта с объектами/установками на поверхности, средней глубине или на морском дне.

7.4.2.2.5 Условие контроля запаса прочности стационарных систем позиционирования

Стационарные системы позиционирования проектируются с достаточным запасом прочности, чтобы они могли выдерживать соответствующие расчетные ситуации (см. п.7.4.2.2.4) даже после утраты одной якорной линии, либо одного или нескольких движителей, как это рассчитывается анализом типов отказов и последствий (FMEA). Это может быть последствием случайного обрыва, планового техобслуживания или локального отказа.

7.4.2.3 Мобильные системы позиционирования

7.4.2.3.1 Мобильные системы позиционирования, удаленные от других сооружений

При проектировании мобильных систем позиционирования, удаленных от других сооружений, необходимо использовать параметры условий окружающей среды с периодом повторяемости не менее чем 1 раз в 5 лет.

Должен выполняться анализ рисков, в ходе которого исследуются различные отказы системы позиционирования, чтобы оценить последствия ее отказа и продемонстрировать, что риск обусловленный потерей позиции является приемлемым.

7.4.2.3.2 Мобильные системы позиционирования в непосредственной близости от других сооружений

При проектировании мобильных систем позиционирования, располагающихся в непосредственной близости от других сооружений, необходимо использовать параметры условий окружающей среды с периодом повторяемости не менее чем 1 раз в 10 лет, в целях учета возможных последствий контактов с объектами обустройства расположенными на поверхности воды, под водой или на поверхности морского дна.

7.4.2.3.3 Условие контроля запаса прочности мобильных систем позиционирования

Мобильные системы позиционирования проектируются с достаточным запасом прочности, чтобы они могли выдерживать соответствующие расчетные ситуации (см. п. 7.4.2.2.4) даже после утраты одной якорной линии, либо одного или нескольких движителей, как это рассчитывается анализом типов отказов и последствий (FMEA). Это может быть последствием случайного обрыва, планового техобслуживания или локального отказа.

7.4.3 Расчетные ситуации для предельного состояния по критериям пригодности к нормальной эксплуатации SLS

Расчетные ситуации для предельного состояния SLS определяются подрядчиком по проектированию непосредственно, или со ссылкой на конкретный процент времени на сооружении, когда конструкции необходимо выполнять свое предназначение.

7.4.4 Расчетные ситуации для предельного состояния по критериям усталостной прочности FLS

Расчетные ситуации для предельного состояния FLS состоят из комплекса природных состояний, описываемых:

- периодом, высотой и направлением волнения,
- скоростью и направлением ветра,
- скоростью, профилем и направлением течения (см. 9.3.5.5 по аспектам VIM);
- частотой возникновения каждого природного состояния,

В отношении адекватного представления статистических данных по местным природным условиям за длительный период, см. раздел 10.

7.4.5 Расчетные ситуации для предельного состояния по критериям аномальных воздействий и аварийных ситуаций ALS

Никаких событий ALS не указывается в отношении систем позиционирования в настоящем стандарте, за исключением событий, которые применяются, если это уместно. Тем не менее, необходимо учитывать выполнение оценки в зависимости от конкретных условий площадки для установления характера и вероятности возможных расчетных ситуаций ALS, например, контакта с айсбергом. Случайные события с повторяемостью, превышающей 10 000 лет могут не учитываться.

8 Воздействия

8.1 Общие требования

В настоящем разделе рассматриваются основные воздействия, которые следует учитывать в конструкции систем позиционирования. Поскольку движение и перемещение плавучего сооружения оказывают наибольшее влияние на конструкцию системы позиционирования, то она также включает воздействия, оказываемые лишь на плавучее сооружение, которое приводит к косвенному воздействию на систему позиционирования.

8.2 Требования к гидрометеорологическим данным площадки установки

8.2.1 Сбор и анализ данных

Взаимодействие природных явлений, таких как ветер, волны, течение и приливы являются специфичными для каждой конкретной площадки. Совместное распределение вероятности, описывающее эти воздействия, должно учитываться при разработке аналитических и статистических моделей, предназначенных для прогноза воздействий и их последствий.

При сборе данных, где должно учитываться совместное распределение, необходимо соблюдать осторожность для сохранения соответствующей информации. Особое значение придается ветру/волнам, высоте волн/периоду волнения, а также взаимной связи волн/течения и их характеристикам абсолютной, а также относительной направленности.

Существуют области, определяемые особыми гидрометеорологическими явлениями, которые в недостаточной мере представлены параметрами со стандартной повторяемостью. Например, некоторые зоны с мягким климатом могут подвергнуться действию "внезапных штормов", таких как шквалы, а другие зоны могут подвергаться воздействию случайных очень сильных течений. В этих случаях необходимо рассматривать особые случаи при определении релевантных природных условий.

Характеристики природного воздействия, которые определяют расчетные ситуации в отношении передвижных систем позиционирования, определяются на основе ежегодных статистических данных. Тем не менее, если сезон эксплуатации четко определен, и сезонных природных данных вполне достаточно для обеспечения значимой статистической информации, то эти характеристики могут быть определены на основе сезонных данных.

Для выполнения усталостного анализа данных по волнам, ветру и течению должно быть собрано достаточно, чтобы это соответствовало требованиям п. 7.4.4.

Дополнительная информация, описывающая характер информации и процедуры сбора данных, приведена в **ГОСТ Р 57148**.

8.2.2 Глубина моря

Расчетная глубина моря для системы позиционирования в месте нахождения каждого якоря должна учитывать вариации глубины моря из-за приливов и штормовых нагонов.

8.2.3 Грунтовые условия дна моря

Грунт в месте расположения площадки необходимо исследовать, чтобы получить данные для конструирования якорной системы. Уклон дна моря должен надлежащим образом учитываться в анализе условий позиционирования, когда это необходимо. Для стационарных систем позиционирования должно выполняться исследование морского дна.

8.2.4 Статистические данные по волнам

Необходимо на основе океанографических данных на участке проведения работ точно определить высоту волн в зависимости от периода волн и направления волн применительно к расчетным ситуациям.

8.2.5 Статистические данные по ветру

В отношении исследуемой площадки на основе гидрографических данных необходимо точно определить скорость и направление ветра.

8.2.6 Профиль течения

В отношении исследуемой площадки на основе океанографических данных необходимо точно определить скорость и направление течения. Надлежащий учет воздействия профилей течения на линии/райзеры часто требуется для более подробных и достоверных аналитических представлений.

8.2.7 **Снег и** обледенение

При проектировании систем позиционирования для эксплуатации в условиях, где возможно выпадение снега, образование льда, обледенение, **вызываемое морскими брызгами, замерзающим дождем, моросью и туманом**, эти воздействия необходимо учитывать. **Обледенение элементов, расположенных в надводной части, плавучих сооружений может увеличить их размер, что приведет к существенному увеличению ветрового воздействия и весовой нагрузки. В особенности это относится к элементам, имеющим большое отношение длины к поперечному размеру (например, факельные стрелы, грузоподъемное оборудование, буровые вышки и др.).**

Нагрузки от воздействий снега и обледенения необходимо учитывать в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54483 и ГОСТ Р 57555.

8.2.8 Морской лед

Нагрузки от воздействий морского льда на якорные линии, корпуса плавучих МНГС и плавучих сооружений могут существенно превышать нагрузки от воздействий волн. Особенности воздействий морского льда являются:

- действие на протяжении продолжительного времени,
- сравнительно высокие частоты воздействия, что приводит к возникновению вибраций в сооружениях,
- образование нагромождений льда.

При прочностных расчетах систем позиционирования следует учитывать наличие перечисленных ниже воздействий:

- поступательные ускорения вследствие воздействий морского льда,
- угловые ускорения вследствие наклона и вращения корпуса плавучего сооружения,
- поворот плавучего сооружения вследствие вращения и наклона с последующим изменением направления воздействий.

Положения по определению ледовых нагрузок приведены в ГОСТ Р 57148.

8.2.9 Обрастание морскими организмами

Тип и скорость обрастания морскими организмами на площадке установки может влиять на массу, вес, гидродинамические диаметры и коэффициенты сопротивления элементов плавучего сооружения и линий. Это необходимо учитывать в отношении стационарных систем позиционирования, которые не будут регулярно очищаться от обрастания морскими организмами.

8.3 Воздействие природных факторов на якорные линии

8.3.1 Общие требования

В настоящем разделе суммируются методы оценки прямого природного воздействия на якорные линии. Якорные линии, обычно, моделируются в качестве узких цилиндрических деталей. Прямое воздействие волн на линии можно в целом не учитывать.

8.3.2 Воздействие течений

Необходимо оценить эффект от воздействия течения на линии при проектировании системы позиционирования. Воздействие течения будет особенно важно для глубоководных мест с сильными течениями. Воздействие течения на линии можно вычислить с помощью Уравнения (1):

$$F = 1/2 \rho_w C_d \cdot d \cdot v^2 \quad (1)$$

Где:

F - усилие на единицу длины, перпендикулярное локальной оттяжке, в ньютонах на метр (Н/м);

ρ_w - плотность морской воды, в килограммах на кубический метр (кг/м³);

C_d - коэффициент сопротивления, см. соответствующие правила RCS;

d - номинальный диаметр линии, в метрах (м);

v - составляющая скорости течения, перпендикулярная локальной оттяжке, в метрах в секунду (м/с).

Там, где имеются течения с высокой скоростью, коэффициенты сопротивления должны корректироваться на наличие вибраций, вызываемых вихреобразованием.

8.3.3 Воздействие льда

На акваториях с отрицательными температурами воздуха, где возможно обледенение и образование льда, воздействия на систему позиционирования должно определяться в соответствии **ГОСТ Р 57148**.

8.3.3.1.1 Управление ледовой обстановкой

Для систем позиционирования плавучих МНГС и плавучих сооружений, эксплуатирующихся на акваториях с ледовым режимом, необходимо разрабатывать систему управления ледовой обстановкой, представляющую собой комплекс мероприятий, целью которых является снижение интенсивности или полное исключение воздействия со стороны ледяных образований на якорные линии и сооружения.

8.3.4 Вибрации линий, вызываемые вихреобразованием

Для гладких цилиндрических якорных линий необходимо учитывать вероятность вибраций, вызываемых вихреобразованием (VIV), особенно его влияние на коэффициент сопротивления.

8.4 Косвенное воздействие

8.4.1 Общие требования

Смещение и движения плавучего сооружения являются основным косвенным воздействием на систему позиционирования. Подробная информация по расчетам воздействия природных факторов на плавучее сооружение представлена в **ГОСТ Р ИСО 19904-1 (проект)**.

8.4.2 Частотные диапазоны

Чтобы оценить эффект, а иногда для учета относительного влияния, природные воздействия на плавучие сооружения можно подразделить на категории следующим образом, в зависимости от их диапазона частот.

Установившееся воздействие, такое как у ветра, течения и дрейфа волн, которые являются постоянными по величине и направлению в интересующем промежутке времени.

Низкочастотное циклическое воздействие (часто называемое «медленный дрейф»), с характерными периодами продолжительностью от 1 до 10 мин, которые обычно вызывают динамическое возбуждение плавучих сооружений в период естественного движения при накате волн, боковом сносе и рыскании. В отношении платформ типа «spar» указанные воздействия также могут вызывать динамическое возбуждение в ходе естественных периодов дифферента и бортовой качки;

Циклическое воздействие с частотой волн с характерными периодами от 3 до 30 с.

8.4.3 Воздействие волн

Воздействие волн (равномерное, низкочастотное, а также с частотой волн) определяется с помощью соответствующих аналитических и эмпирических методов, или модельных испытаний, с

учетом соответствующего влияния глубины. К имеющим отношение аналитическим/эмпирическим методам относятся дифракция и излучение, а также гидродинамика узких элементов.

Поскольку период волнения может оказывать существенное воздействие на движение медленного дрейфа, то необходимо исследовать периоды волнений в соответствии с положениями А.7.2.4.

Необходимо исследовать взаимодействие между течением и волнами. Это включает в себя изменение частот, свойственных волнам, на кажущиеся частоты волн (см. **ГОСТ Р 57148**), а также изменение величины воздействия волн.

8.4.4 Воздействие ветра

Необходимо исследовать коэффициенты сопротивления с помощью испытаний в аэродинамической трубе и/или инструментария для эмпирического анализа, см. ISO 19904-1. Постоянное воздействие ветра с конкретного направления должно включать в себя все три компонента горизонтальной плоскости (F_x , F_y , M_z), используя коэффициенты давления ветра, вычисленные на основе модельных испытаний или вычислений. Для платформ типа «spar», моменты килевой качки и бортовой качки также имеют важное значение в качестве среднего угла килевой и бортовой качки, которые также будут воздействовать на коэффициенты воздействия ветра при продольном сносе, боковом сносе и отклонении от курса.

Для представления воздействия ветра с равномерной и низкой частотой, обычно, используются два аналитических подхода (см. **ГОСТ Р ИСО 19904-1**):

а. Ветер рассматривается в качестве постоянного с точки зрения направления и скорости, которая в среднем берется равной 1 мин;

б. Ветер моделируется по равномерному компоненту, на основе средней скорости в течение 1 ч, плюс изменяющийся по времени компонент, вычисленный на основе пригодного эмпирического спектра порывов ветра, см. **ГОСТ Р 57148**.

Расчетная скорость ветра должна относиться к возвышению 10 м поверх уровня стоячей воды.

Что касается конструкции стационарной системы позиционирования для предельного состояния ULS, то должен использоваться подход б; а подход а также может использоваться при условии, что он будет демонстрировать большую стабильность. Тем не менее, для предельного состояния FLS, должен использоваться подход б, поскольку эффект воздействия ветра (меняющегося по времени) на плавучее сооружение может повлиять на величину низкочастотных растягивающих циклов.

Для передвижных систем позиционирования может использоваться либо а или б.

Для площадок, на которые обрушиваются тропические шквалы, концепция ветрового спектра применяться не может. Должен выполняться анализ соответствующих воздействий и эффектов ветра, используя соответствующую спецификацию с историей показаний скорости ветра.

8.4.5 Воздействие течения

Воздействие течения (установившееся или низкочастотное) на плавучие сооружения с большим корпусом определяется посредством модельных испытаний и/или инструментария эмпирического анализа. Воздействия течения на компоненты большого удлинения, включая райзеры, может быть определено по формуле (1).

8.4.6 Распределение по направлениям

Смещения и движения плавучего сооружения, которые используются при проектировании системы позиционирования, оцениваются в самых неблагоприятных сочетаниях направлений ветра, направлений волн и направлений течения, которые согласуются со специфичными для площадки гидрометеорологическими характеристиками. Может учитываться способность плавучего сооружения менять курс при изменении природных условий.

8.4.7 Движения плавучих сооружений, вызываемые вихреобразованием

Плавучие сооружения, состоящие из цилиндрических элементов большого диаметра, такие как платформы «spar», полупогружные основания и платформы TLP, могут испытывать движения с низкой частотой из-за вихреобразования в присутствии течений. Эти движения, вызываемые вихреобразованием (VIM), являются наиболее заметными на платформах «spar», на которых был получен наибольший опыт в отрасли. Тем не менее, многоколонные плавучие сооружения, такие как

полупогружные платформы и TLP, также могут испытывать воздействие VIM и эффект от таких движений должен учитываться при проектировании.

VIM воздействует на конструкцию системы позиционирования по трем аспектам:

а) Средний согласованный коэффициент сопротивления выше, чем его значение было бы при отсутствии VIM;

б) Низкочастотные движения VIM могут быть существенными с точки зрения суммарного отклика плавучего сооружения;

с) движения VIM могут вызвать дополнительные низкочастотные колебания, которые будут раскачивать линии.

Эти эффекты необходимо учитывать с точки зрения прочности и усталости конструкции. Возникновение кольцевых течений и завихрений в Мексиканском заливе показали важность анализа VIM в этой географической зоне. В отличие от других экстремальных явлений, например, зимних штормов и ураганов, кольцевое течение и сопутствующее завихрение может действовать на конкретную площадку в течение более длительного времени и могут внести существенный вклад в усталостное разрушение компонентов системы позиционирования.

ПРИМЕЧАНИЕ Волны, пересекающие течение, могут усиливать движения VIM лишь за счет течения, в зависимости от частоты волн, поэтому в анализе VIM стоит учитывать частоту волн, если это применимо.

9 Анализ систем позиционирования

9.1 Общие требования

9.1.1 Введение

Анализ системы позиционирования выполняется с целью прогнозирования экстремальных значений нагрузочных эффектов (максимальных или минимальных, в зависимости от ситуации), таких как смещение плавучего сооружения, растягивающие усилия линий и анкерные усилия при воздействии природных и иных факторов (воздействия на райзеры, воздействие спаренных систем позиционирования, и т.д.). Экстремальные нагрузочные эффекты необходимо сопоставлять с расчетным критериями, приведенными в разделе 11.

Натяжение линий часто можно регулировать вручную по эксплуатационным причинам и/или в преддверии наступления неблагоприятных природных явлений. Для анализа расчетных ситуаций ULS, моделирование конфигурации системы позиционирования плавучего сооружения должно отражать такую регулировку. Тем не менее, моделирование активной регулировки натяжения линий при анализе расчетных ситуаций учитывать не стоит.

Значение диаметра линии, используемое в анализе линий должно представлять собой номинальное значение (т.е. без вычетов на коррозию или износ), если ниже не указано иное.

9.1.1.1 Общие требования

Анализ системы позиционирования выполняется в соответствии с п. 9,8 для неизменного состояния, контроля по избыточности и переходных условий, как это определено ниже. Описание условий анализа для системы позиционирования с подруливающими устройствами приведено в п. 9.9.2.

Посадочные допуски на установку якоря и длину линии должны учитываться в конструкции системы позиционирования.

9.1.1.2 Неповрежденное состояние

Это условие, при котором все якорные линии не повреждены, а все движители и подруливающие устройства находятся в рабочем состоянии.

9.1.1.3 Условие контроля запаса прочности

Это условие, при котором сооружение имеет новое среднее положение после разрыва одиночной линии или отказа одного, или нескольких движителей, как это надлежащим образом оценено в анализе FMEA.

Оценка риска системы позиционирования выполняется, если сооружение находится в режиме контроля по избыточности.

9.1.1.4 Переходное состояние

Это условие, при котором сооружение испытывает переходные движения между неповрежденным состоянием и условиями контроля запаса прочности, включая возможность превышения, как результата обрыва отдельной якорной линии, так и отказа одного или нескольких движителей, как это надлежащим образом оценено в анализе FMEA.

9.1.1.5 Рекомендуемые методы анализа и условия

Рекомендуемые методы анализа (см. 9.3.5), в зависимости от условий, которые будут анализироваться, а также предельных состояний, которые будут удовлетворяться, приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 — Рекомендуемые методы анализа и условия

Тип системы позиционирования	Предельное состояние	Анализируемые условия	Метод анализа
Стационарная система позиционирования	ULS	неповрежденные/контроль запаса прочности	динамический
		переходные ^a	квазистатический или динамический
	FLS	неповрежденные	динамический
	SLS	не указано	не указано
Подвижная система позиционирования	ULS	неповрежденные/контроль запаса прочности	квазистатический или динамический
		переходные ^{a,b}	квазистатический или динамический
	FLS	не требуется	не применимо
	SLS	не указано	не указано

a применимо лишь в случае, если другая установка находится в непосредственной близости от системы позиционирования.
b применимо для буровой установки MODU при бурении на глубоководных участках, где существуют избыточный переходный режим движения, который может вызвать развинчивание компенсатора райзера.

9.2 Смещение плавучего сооружения

9.2.1 Общие требования

Следующие определения смещения плавучего сооружения применяются по отношению к любой выбранной нулевой точке на сооружении.

9.2.2 Среднее смещение

Среднее смещение определяется смещением жесткого тела сооружения вследствие сочетания равномерных компонентов ветра, волн, течения и других внешних воздействий. В это время, как обычно, учитываются только три компонента в горизонтальной плоскости (в направлении продольного сноса, бокового сноса и отклонения от курса), другие три компонента (в вертикальном направлении, в направлении боковой качки, а также в направлении килевой качки) также могут быть важными, особенно для сооружений с небольшой площадью ватерлинии.

9.2.3 Экстремальные значения смещения

При использовании подхода с частотной областью 9.3.1.2 для вычисления отклика сооружения, экстремальные значения смещения определяются, как среднее смещение плюс или минус максимальное расчетное значение отклонения, меняющееся во времени вследствие комбинированного движения сооружения из-за частоты волн и низких частот. Экстремальные значения смещения также должны вычисляться по отношению к местоположению каждого якоря с целью вычисления натяжения.

Экстремальные значения смещения, $S_{\max}$ и $S_{\min}$ могут быть определены с помощью Уравнений (2) и (3).

$$S_{\max} = S_{\text{mean}} + \text{MAX}(S_{\text{dyn1}}, S_{\text{dyn2}}) \quad (2)$$

$$S_{\min} = S_{\text{mean}} - \text{MAX}(S_{\text{dyn1}}, S_{\text{dyn2}}) \quad (3)$$

$$S_{\text{dyn1}} = S_{\text{lfmax}} + S_{\text{wfsig}} \quad (4)$$

$$S_{dyn2} = S_{wmax} + S_{lfsig} \quad (5)$$

Где:

MAX - самое крупное из абсолютных значений терминов в скобках;

S_{max} - максимальное смещение сооружения, в метрах (м);

S_{min} - минимальное смещение сооружения, в метрах (м);

S_{mean} - среднее смещение сооружения, в метрах (м);

S_{lfsig} - наиболее вероятное максимальное значение низкочастотного движения, в метрах (м);

S_{lfsig} - существенное значение низкочастотного движения, в метрах (м);

S_{wfmax} - наиболее вероятное максимальное значение движения с частотой волн, в метрах (м);

S_{wfsg} - существенное значение движения с частотой волн, в метрах (м).

Определения наиболее вероятных максимальных и важных значений приведены в п. 9.3.2.

Комбинированное смещение для различной степени подвижности (например, продольного и бокового сноса) должно определяться, как векторная сумма отдельных компонентов смещения.

Альтернативами такому подходу будет подход во временной области 9.3.1.3, а также комбинированный подход во временной и частотной области, 9.3.1.4, который включает статистическую обработку смоделированных временных зависимостей для получения экстремальных значений смещения.

Вышеуказанный подпункт применяется в отношении неизменного условия и условия контроля по избыточности. Для переходного условия, экстремальные значения смещения даны в п. 9.10.2.

9.3 Реакция плавучего МНГС и плавучих сооружений

9.3.1 Методы анализа

9.3.1.1 Общие требования

Для вычисления отклика плавучего сооружения обычно используются три метода:

- подход в частотной области,
- подход во временной области,
- комбинированный подход в частотной и временных областях.

Эти методы подразумевают различные степени аппроксимации, и им присущи различные ограничения, и поэтому необязательно, что с их помощью можно получить согласованные результаты. Если требуется верификация выбранного подхода для проектирования системы позиционирования, то должны использоваться данные модельных испытаний или альтернативные данные.

В настоящее время, поскольку отсутствует установленный аналитический метод для определения отклика на движение плавучего сооружения, испытывающего воздействие ВИМ, то в отрасли, в основном, полагаются на модельные испытания. Тем не менее, имеются ограниченные полномасштабные данные для подтверждения масштабируемости модельных испытаний. Если текущие нагрузки и ВИМ определяются в качестве определяющего фактора при проектировании, то обычно, принято выполнять хорошо спланированные модельные испытания для определения амплитуд движения и коэффициентов сопротивления для использования в конструкции системы заякорения.

9.3.1.2 Подход в частотной области

В этом подходе общие уравнения движения, описывающие отклик сооружения, разделяются и анализируются по отдельности по среднему, низкочастотному отклику и отклику по частоте волн. Средние отклики вычисляются на основе статического равновесия между равномерным природным воздействием и возвратным усилием системы позиционирования. Движения сооружения с частотой волны и низкой частотой вычисляются на основе частотной области, которые позволяют получить статистические данные по отклику на движение. Экстремальные значения, такие как существенные и наиболее вероятные максимальные отклики, затем вычисляются на основе распределения плотности максимальной вероятности, см. п. 9.3.2. В заключение, наиболее вероятные максимальные значения и существенные значения с откликами с частотой волны и низкочастотными откликами объединяются со средним откликом, Уравнений (2) и (3), для вычисления комбинированного наиболее вероятного максимального отклика для указанной продолжительности шторма.

Для выполнения анализа с использованием частотной области маневрирующего сооружения, курс сооружения должен оставаться неизменным. Должны быть определены фиксированные расчетные курсы, при которых вычисляются отклики системы позиционирования, учитывая средний равновесный курс и низкочастотные движения по отклонению. В нормальных условиях необходимо учитывать более одного фиксированного курса, чтобы обеспечить выявление самого большого максимального курса, см. 9.8.2.

9.3.1.3 Подход с использованием временной области

В этом подходе общие уравнения движения, описывающие комбинированные средние, низкочастотные и отклики с частотой волны плавучего сооружения решаются во временной области. Вынуждающие функции включают среднее, низкочастотное воздействие и воздействие с частотой волны вследствие воздействия волн, ветра, течения и подруливающих устройств, если они имеются. Уравнения, описывающие поведение плавучего сооружения, линий, райзеров и подруливающих устройств, а также их взаимодействие, все включены в моделирование во временной области. Временные зависимости всех основных параметров отклика (перемещение сооружения, натяжение линий, удерживающие усилия якорных линий, и т.п.) определяются с помощью моделирования, а результирующие временные зависимости затем обрабатываются статистически для вычисления экстремальных значений. Моделирование во временной области должно быть достаточно продолжительным для получения стабильных статистических значений.

9.3.1.4 Комбинированный подход на основе временной и частотной областей

Для упрощения и уменьшения вычислений, на основе моделирования полностью связанных временных и частотной областей, часто используется комбинированный подход во временной и частотной областях. Решения во временной и частотной областях для средних откликов, волновых и низкочастотных откликов могут быть объединены различными способами. При стандартном подходе моделируются средние и низкочастотные отклики (перемещение сооружения, натяжение линий, удерживающие усилия якорных линий и т.п.) во временной области, в то время как отклики на частоте волны решаются отдельно в частотной области. Решение в частотной области в отношении отклика на частоте волны обрабатывается для получения либо статистических экстремальных значений, или временных зависимостей, которые затем накладываются на средний и низкочастотный отклики.

9.3.2 Статистические данные по экстремальным значениям

Для анализа во временной области, могут определяться релевантные экстремальные значения в соответствии с положениями А.8.3.1.3.

При проведении анализа в частотной области для явления, которое может быть представлено узкополосным гауссовским процессом, статистические экстремальные данные для меняющегося во времени компонента явления могут быть следующим образом вычислены на основе стандартного отклонения соответствующего спектра откликов (распределение Рэйли):

$$V_{\text{sig}} = \pm 2s \quad (6)$$

$$E_{\text{max}} = +s\sqrt{2\log_e(t/t_z)} \quad (7)$$

$$E_{\text{min}} = -s\sqrt{2\log_e(t/t_z)} \quad (8)$$

где:

V_{sig} - существенное значение;

E_{max} - наиболее вероятное максимальное значение;

E_{min} - наиболее вероятное минимальное значение;

s - стандартное отклонение;

t - продолжительность расчетной ситуации, в единицах времени; в отношении продолжительности расчетной ситуации должно быть указано не менее 3 ч ;

t_z - средний нулевой период выхода за установленный уровень движений, в единицах времени, где для низкочастотных движений может быть взят t_z в качестве естественного периода для соответствующей степени подвижности комбинированной системы сооружения/райзера/системы позиционирования t_n , которую можно определить с помощью

$$t_n = 2\pi\sqrt{M/k} \quad (9)$$

M - масса системы, включая добавленную массу в килограммах, (кг);

k - жесткость системы для соответствующей степени подвижности в среднем положении сооружения, в ньютонах на метр (Н/м).

Наиболее вероятное максимальное натяжение сравнивается с ограничением натяжения линии величиной 10.2, и может быть получено из уравнения (7) путем добавления значения среднего натяжения.

ПРИМЕЧАНИЕ Эти формулы могут занижать наиболее вероятное максимальное значение нелинейного широкополосного отклика.

9.3.3 Подавление низкочастотных колебаний

Особое внимание нужно уделить подавлению низкочастотных колебаний. Низкочастотное движение удерживаемого сооружения является узкополосным по частоте, поскольку его сдерживает резонансный отклик на собственной частоте пришвартованного сооружения. Амплитуда движений сильно зависит от жесткости системы позиционирования. Имеется существенная степень неопределенности в оценке подавления низкочастотных колебаний. Четырьмя источниками подавления могут быть:

- вязкостное демпфирование сооружением;
- демпфирование дрейфа волн сооружением;
- демпфирование системой позиционирования;
- демпфирование райзером.

9.3.4 Райзеры

Система райзера (если имеется) взаимодействует с плавучим сооружением и системой позиционирования по нескольким аспектам. Воздействие волн и течения на райзеры увеличивают природное воздействие, которому должна противостоять система позиционирования, в то время, как жесткость системы райзера помогает системе позиционирования. Более того, демпфирование системой райзера снижает низкочастотные движения и, в свою очередь, уменьшает натяжение системы позиционирования. Конечный результат воздействия этих эффектов зависит от количества факторов, таких как тип и количество райзеров, а также глубины моря. Конструкция системы позиционирования должна учитывать воздействие райзеров, жесткость и демпфирование. Это действие райзеров можно игнорировать, если такие действия приводят к более консервативной конструкции системы позиционирования.

Если райзерная система предназначена для различного количества райзеров в течение расчетного срока службы (например, из-за предполагаемых врезок в будущем) то должны исследоваться все различные конфигурации.

9.3.5 Фактор движения, вызываемый вихреобразованием

9.3.5.1 Общие требования

В отличие от других резонансных откликов амплитуда VIM ограничена. Поведение с движением в поперечном направлении, обычно, характеризуется безразмерным отношением амплитуды движения, a , к диаметру корпуса, d , (a/d). Самое сильное движение в амплитудой в продольном направлении наблюдалось на плохообтекаемом теле, и составляло порядка $a/d = 1$. Спиралевидные пояса обшивки, обычно, используются на платформах «spar» (и райзерах) для уменьшения амплитуды движения. Пояса обшивки могут быть очень эффективными для устранения VIM; однако, их эффективность на платформах «spar» зависит от различных факторов, таких, как точная схема расположения и размер поясов обшивки, вспомогательных узлов и профилей течения.

Специальные аспекты конструкции VIM и анализ включают, не ограничиваясь, следующее.

а) Отсутствуют разработанные аналитические инструменты для прогнозирования VIM. В настоящее время расчетные критерии VIM, обычно, определяются на основе модельных испытаний. Методики модельных испытаний должны быть валидированы с использованием полевых измерений, которые достаточно ограниченные.

б) На VIM действуют естественные периоды комбинированного плавучего сооружения и система позиционирования, скорость течения, направление, профиль, геометрия корпуса и вспомогательные узлы.

с) Продолжительность воздействия течения на VIM может быть значительно дольше, чем максимальная продолжительность шторма.

д) Модельные испытания могут моделировать лишь определенные параметры, аппроксимируя другие, поэтому нужно внимательно интерпретировать и использовать данные модельных испытаний.

е) В случаях, когда VIM приводит к большим циклам натяжения при высокой средней нагрузке, то срок службы при усталостной нагрузке может быть коротким для компонентов системы позиционирования с низким сопротивлением усталостной нагрузке, таким как цепи.

ф) Калибровка факторов безопасности для конструкции системы позиционирования не включает в себя условие VIM и неопределенности, связанные с VIM. Поэтому рекомендуется проводить проверки чувствительности, как описано в А.8.3.5.1.

По причинам, изложенным выше, важно очень внимательно решать вопрос с VIM в рамках этапа проектирования системы позиционирования. Этого можно добиться следующим образом:

Путем определения критериев проектирования, которые признают неопределенности поведения VIM, например проверка случаев чувствительности в дополнение к базовым вариантам, а также контроль данных полевых наблюдений, и данных модельных испытаний;

Проведение усталостного анализа для условия отклика VIM за 100 лет в дополнение к анализу долговременной усталости;

Выбор оборудования для системы позиционирования характеристик системы позиционирования, которые могут лучше адаптироваться к/ или смягчить VIM.

9.3.5.2 Расчетные критерии для анализа на прочность VIM

Первым шагом в проектировании на прочность является установление пригодного критерия проектирования VIM. Параметры проектирования, относящиеся к VIM, с целью достижения прочности конструкции системы позиционирования, включают в себя:

- амплитуду отклика линейного и продольного VIM (a/d), как функцию уменьшенной скорости (V_r);

- коэффициент сопротивления, как функцию амплитуды отклика VIM;
- определение диапазонов V_r ;
- траекторию или конверт отклика VIM.

Эти критерии, в основном, базируются на сочетании данных модельных испытаний (с учетом специфики проекта) и предшествующего опыта по VIM. В зависимости от применяемого подхода, могут быть меняющиеся уровни неопределенности критериев VIM, указанных для конкретного проекта. Критерии должны разрабатываться для базового варианта (наилучшая оценка), и для некоторых чувствительных вариантов. Коэффициенты запаса прочности по натяжению для неизменных и нарушенных условий должны выполняться для базового варианта. Варианты чувствительности должны использоваться для проверки выносливости системы позиционирования, с намерением подтверждения того, что риск отказа системы позиционирования находится на приемлемом уровне даже в случае, если оценки конкретных влияющих параметров, таких как жесткость позиционирования, скорость течения, коэффициент сопротивления, определение синхронности, или амплитуда VIM являются неточными. Одной из важных функций проверки чувствительности является определение того, войдет ли система при наличии некоторых ограничений в критических параметрах в режим захватывания VIM, который не будет очевидным для критерия проектирования базовой конструкции изолированно.

9.3.5.3 Метод анализа прочности VIM

Большая часть программного обеспечения по анализу системы позиционирования, в целом, не приспособлена для анализа VIM, и поэтому, как правило, используется упрощенная процедура анализа, описанная в информативном приложении.

9.3.5.4 Основные факторы усталостного анализа VIM

Напряжения в системе позиционирования, вызываемые VIM, имеют циклический характер, и вносят свой вклад в усталостное повреждение системы позиционирования. Факторы, приведенные ниже, следует учитывать, когда оценивается усталость из-за VIM:

а) Для вычисления количества циклов растяжения должен использоваться период VIM в положении смещения, который соответствует конкретному рассматриваемому текущему бину. Указанный период может варьироваться в зависимости от направления и величины течения и, как правило, отличается от естественного периода стоячей воды.

б) В дополнение к оценке долгосрочного усталостного повреждения, также рекомендуется выполнять усталостный анализ для усталостного события VIM за 100 лет (или другого единичного события по наихудшему сценарию, как указано в п. 9.3.5.5).

с) Системы позиционирования, испытывающие высокое среднее растяжение, и большие вариации по растяжению, могут создать механическое напряжение в цепи, выходящее за рамки упругой области, для которой отсутствуют данные усталостных испытаний. Чтобы обеспечить достаточный срок службы до разрушения от усталости, системы позиционирования должны проектироваться таким образом, чтобы избежать таких ситуаций.

д) Повреждение цепи вследствие усталости на направляющем блоке требует особого внимания, так как дополнительное напряжение изгиба прикладывается к цепи на этом участке, и цепь, как правило, имеет наименьший срок службы до разрушения от усталости всех компонентов системы позиционирования.

е) Варианты чувствительности, аналогичные тем, которые использованы в прочностном анализе, должны учитывать неопределенность в прогнозах VIM.

9.3.5.5 Усталостный анализ VIM для долговременных и одиночных экстремальных событий

Для анализа долгосрочного усталостного разрушения в условиях VIM, текущие события могут быть представлены в виде ряда дискретных текущих бинов, и каждый текущий бин будет состоять из исходного направления, исходной скорости и профиля течения, сопутствующих волновых и ветровых условий, а также вероятности возникновения. Усталостное повреждение для каждого текущего бина должно оцениваться, и усталостное повреждение из-за VIM объединяется с усталостным повреждением из-за ветра и волнения для определения суммарного усталостного повреждения.

Однако, исследования показывают, что существенное усталостное повреждение может быть вызвано одиночным экстремальным событием VIM. Поэтому, в дополнении к оценке повреждения от усталости в результате длительного воздействия, должен учитываться результат анализа события VIM с повторяемостью в 100 лет. Поскольку отклик VIM в большой степени зависит от уменьшенной скорости, то течение связывается с наихудшей расчетной ситуацией VIM, и, не обязательно, совпадает с повторяемостью в 100 лет или ураганом. Амплитуды VIM, вызывающие самые сильные усталостные повреждения, могут возникать в присутствии течений с более низкой повторяемостью. Профилем скорости течения и направлением, используемым в оценке одиночного усталостного события, должен быть наиболее неблагоприятный профиль скорости и направления, которые выявлены в ходе анализа прочности. Однако, вместо использования профиля течения с постоянной скоростью для всего экстремального события, может рассматриваться вариация течения на основе полевых измерений для сильного кольцевого течения. Продолжительность этого события может отличаться от той, которая получена на основе долгосрочного распределения течений.

Усталостный анализ, как правило, выполняется только для неизменных условий. Тем не менее, усталостный анализ для поврежденного состояния должен рассматриваться для одиночного экстремального события VIM, когда прогрессирующий линейный отказ из-за усталости представляет проблему.

Запас прочности в отношении расчета на усталость приведен в п.10.5. Этот фактор необходимо применять в отношении долговременного усталостного повреждения (из-за ветра и волнения, а также VIM) и по отношению к усталостному повреждению в результате одиночного события при неизменных условиях.

9.3.5.6 Усталостное разрушение и износ цепи из-за VIM

Усталостное разрушение цепи на направляющем блоке, как правило, выше, чем на удалении от направляющего блока. Для систем позиционирования, где усталостное разрушение цепей является критическим, важно периодически перемещать звенья на направляющем блоке, чтобы таким образом более равномерно распределить дополнительное усталостное повреждение из-за изгиба. Если такая процедура является частью программы эксплуатации, то усталостное разрушение звеньев вокруг направляющего блока можно оценить на основе части времени, когда звенья расположены на направляющем блоке. Тем не менее, звенья на направляющем блоке должны иметь достаточную усталостную прочность, чтобы преодолеть, по крайней мере, одиночное экстремальное событие VIM (например событие VIM за 100 лет).

Системы позиционирования, подверженные действию VIM, могут быть также подвержены усиленному износу звеньев в районе направляющего блока, который обусловлен высоким контактным давлением и большим перемещением между звеньями. Этот аспект необходимо тщательно оценить, и нужно учитывать измерение периодического сдвига звеньев на направляющем

блоке, чтобы смягчить проблему износа. Измерение износа с помощью предельного калибра, как указано в API 2I также может рассматриваться для выявления чрезмерного износа звеньев цепи.

9.4 Реакция якорных линий

9.4.1 Общие требования

Динамический отклик плавучего сооружения возбуждает систему позиционирования в трех различных частотных диапазонах:

- средний отклик;
- низкочастотные отклики;
- отклики на частоте волны.

Экстремальные значения растяжения линий оценивается путем объединения всех трех составляющих, указанных выше, в соответствии с п. 9.5. Экстремальные значения лежащих на грунте участков оценивается аналогичным образом, если это применимо.

Отклики системы позиционирования на средние воздействия могут быть спрогнозированы с помощью статических эластичных уравнений цепной линии, включая удлинение линий. Как правило, отклики на низкочастотные движения также можно прогнозировать с помощью этого же метода, по причине длительных периодов таких движений. Отклики системы позиционирования на движения сооружения с частотой волн могут прогнозироваться с помощью методов, приведенных в 9.4.2 и 9.4.3.

9.4.2 Квазистатический анализ

В этом подходе воздействие волн учитывается за счет статического смещения сооружения в результате движений, которые вызывают волны. Динамическое действие на якорные линии, связанное с массой, демпфированием и ускорением жидкости, не учитывается. Исследования по динамике якорных линий показали, что надежность конструкции линий, базирующихся на этом методе, может широко варьироваться в зависимости от типа сооружения, глубины моря и конфигурации линий.

9.4.3 Динамический анализ

Динамический анализ якорных линий учитывает меняющиеся во времени эффекты за счет массы, демпфирования и ускорения жидкости. В этом подходе меняющиеся во времени движения в направляющем блоке вычисляются на основе продольного сноса, бокового сноса, поступательного перемещения, бортовой качки, килевой качки и рыскания. Динамические модели используются для прогнозирования отклика якорных линий на движения направляющего блока.

Могут использоваться либо подход с использованием частотной области, 9.3.1.2, или подход с использованием временной области, 9.3.1.3, для прогнозирования напряжений в якорных оттяжках. При использовании временной области все нелинейные эффекты, включая удлинение линий, геометрию линий, нагрузку жидкостью, и эффекты морского дна могут моделироваться. Использование частотной области, с другой стороны, в целом линейное. Методы аппроксимации нелинейных параметров в частотной области, а также их ограничения, необходимо исследовать, чтобы обеспечить приемлемые решения для предполагаемого применения.

9.5 Натяжение якорных линий

9.5.1 Среднее натяжение

Среднее натяжение представляет собой натяжение линии, которое соответствует среднему смещению отклика сооружения.

9.5.2 Экстремальные значения натяжения

При использовании частотной области для моделирования отклика сооружения, п.9.3.1.2, экстремальные значения натяжения линий вычисляются по натяжению линий на частоте волн, вычисленных при нахождении сооружения в положениях, эквивалентных $S_{max} - S_{wfmax}$, по отношению к местоположению каждого якоря. Экстремальные значения натяжения линий затем определяются как

$$T_{extreme} = T_{static} \pm T_{wfmax} \quad (10)$$

Где:

$T_{extreme}$ - экстремальное значение натяжения, в ньютонах, (Н);

T_{static} - статическое натяжение при $S_{extreme}$ – Swf_{max} , в ньютонах, (Н);

Twf_{max} - максимальное натяжение на основе анализа в частотной области, в ньютонах, (Н);

$S_{extreme}$ - применимое значение S_{max} или S_{min} для отдельного смещения от верхней оконечной точки до якоря, из Уравнения (2) или Уравнения (3), соответственно, в метрах, (м);

Swf_{max} - смещение от верхней оконечной точки до якоря, которое определено в 9.2.3, в метрах (м).

Альтернативой этому подходу является подход с использованием временной области, п. 9.3.1.3, и комбинированный подход с использованием временной и частотной областей, п. 9.3.1.4, который включает статистическую обработку моделируемых временных зависимостей для получения максимальных значений натяжения линий.

9.5.3 Контроль проекта

Экстремальные значения натяжения якорных линий должны проверяться по расчетным критериям, указанным в п. 11.2.

9.5.4 Натяжение для усталостного анализа

Диапазон натяжения линий для усталостного анализа вычисляется аналогично п. 9.5.1 и п. 9.5.2. Детальная информация по методу изложена в п. 10.3.3.2.

9.6 Ограничения по длине и геометрии линии

В зависимости от типа развернутой системы позиционирования, оценивается тип используемых якорей и материал якорных линий, ряд параметров по длине линий и их геометрии, для подтверждения их соответствия расчетным критериям.

Для одноякорных причалов с цепными якорными линиями с плавучими якорями, специально не предназначенными для выдерживания подъема, вычисляется минимальная длина лежащей на дне линии (всегда лежащей на морском дне), которая сравнивается с расчетным критерием, который должен быть задан с учетом специфики площадки.

Для якорей, предназначенных выдерживать подъемные силы, должно быть продемонстрировано соответствие расчетным критериям для специального типа якоря.

Для некоторых типов якорных линий длительное нахождение на дне крайне нежелательно и часть линии, которая расположена ближе всего к якорю, обычно, заменяется цепью. В таких случаях минимальное возвышение участка троса-цепи вычисляется, и верифицируется по минимальному возвышению, который задается с учетом специфики площадки.

Для некоторых типов линий, воздействие зоны периодического смачивания, или трения направляющего блока, также нежелательно и верхняя часть линии, обычно, заменяется цепью. В таких случаях положение верхней оконечности оценивается и сравнивается с критерием минимальной глубины, который задается с учетом специфики площадки.

Для линий, которые находятся поблизости от других подводных и надводных установок, могут существовать другие требования по допускам и ограничениям геометрии. В таких случаях результаты анализа для перемещения в конкретных проблемных точках верифицируются по применимым расчетным критериям, см. п. 11.7, или задаются с учетом специфики площадки.

Длина линий и ограничения геометрии для канатов из синтетических волокон представлены в Статье 15.

9.7 Усилия позиционирования

Самое высокое экстремальное значение натяжения на основе анализа системы позиционирования, указанного в п.9.5.2, используется для прогнозирования максимальных усилий позиционирования. Результаты сравниваются с расчетными критериями п. 11.4, согласно обстоятельствам.

9.8 Анализ и оценка стационарной системы позиционирования

9.8.1 Анализ частотных характеристик пространственной системы позиционирования

При анализе системы позиционирования с использованием описания в частотной области отклика плавучего сооружения, среднее положение сооружения сначала определяется на основе вычислений статического равновесия в направлении продольного сноса и бокового сноса, а также вращения по рысканию. Отклики продольного, бокового сноса и рыскания на волновые и низкочастотные возбуждения затем вычисляются и добавляются к среднему положению. Должна использоваться процедура, описанная в А.8.8.1.

Там, где сооружение имеет малую площадь по ватерлинии (см. 9.2.2), должны использоваться альтернативные процедуры, включающие шесть степеней свободы.

пространственные системы позиционирования

9.8.2 Анализ частотных характеристик одноточечной системы позиционирования

Для выполнения анализа на основе описания отклика сооружения в частотной области, должны делаться допущения в отношении курса сооружения. Расчетные курсы, при которых вычисляются отклики системы позиционирования, должны определяться с учетом среднего равновесного курса и низкочастотных движений по рысканию. Должна использоваться процедура, указанная в А.8.8.2, которая, вероятно, даст консервативную аппроксимацию.

9.8.3 Анализ во временной области

Методы с использованием временной области могут использоваться для выполнения связанного моделирования среднего отклика, низкочастотного отклика и отклика на частоте волн для комбинированной системы, состоящей из сооружения и якорных линий. Этот подход предусматривает выполнение анализа системы позиционирования во временной области, который решает общие уравнения движения для вычисления комбинированного среднего, низкого и отклика на частоте волны плавучего сооружения, якорных линий и райзеров. Существенные преимущества этого подхода заключаются в том, что низкочастотное демпфирование с помощью плавучего сооружения, якорных линий и райзеров генерируются внутренним образом в модели, а также в том, что связь между сооружением и системой позиционирования/райзерами полностью учитывается. Процедура представлена в А.8.8.3.

9.9 Системы динамического позиционирования

9.9.1 Общие требования

В следующих подпунктах рассматривается конкретная конфигурация, где одноточечная система позиционирования или двухточечная система позиционирования использует движители и средства активного управления (подруливающие устройства).

9.9.2 Условия анализа

Определения неизменного состояния и контроля по избыточности для системы позиционирования с подруливающими устройствами дано в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 —Определение неповрежденного состояния и контроля запаса прочности

Определение системы динамического позиционирования	Состояние системы позиционирования	Состояние подруливающих устройств
неповрежденное	неповрежденное	неповрежденное
контроль запаса прочности	неповрежденное	контроль запаса прочности
контроль запаса прочности	обеспечение резервирования	неповрежденное

9.9.3 Определение допустимого подруливающего устройства

Когда подруливающие устройства используются в качестве вспомогательного средства для системы позиционирования, то допустимая тяга, которая может использоваться в анализе системы позиционирования, должна определяться следующим образом:

а) определить имеющийся эффективный упор с учетом эффективности и потерь у подруливающих устройств из-за движений плавучего сооружения, течения, подруливающего устройства/корпуса и эффекта интерференции подруливающего устройства/подруливающего устройства, а также любых ограничений по направлению.

б) Определить наихудший отказ подруливающей системы. Должен быть выполнен анализ FMEA с целью выявления самого серьезного одиночного отказа, см. 14.2.1. Определение наихудшего одиночного отказа должно помочь определить готовность подруливающей системы (среднее время наработки на отказ и среднее время на ремонт) в течение расчетного срока службы сооружения.

в) определить допустимую тягу:

1) Для автоматических систем управления движителями допустимая тяга должна составлять

- Для неизменного состояния подруливающего устройства тяга равна доступному эффективному упору, или

- Для контроля по избыточности подруливающего устройства тяга равная доступному эффективному упору после учета наихудшего отказа, как это определено анализом FMEA;

2) Для систем ручного управления движителями допустимая тяга составляет 0,7 найденного значения в 1).

Допустимая тяга, используемая в анализе швартовой системы, должна быть верифицирована в ходе морских испытаний подруливающей системы.

9.9.4 Распределение нагрузки

9.9.4.1 Общие требования

В системе динамического позиционирования распределение нагрузки между подруливающими устройствами и системой позиционирования является сложным. Тем не менее, простой метод уменьшения средней нагрузки, описанный ниже, дает обоснованные результаты.

9.9.4.2 Метод снижения средней нагрузки

В этом упрощенном подходе подруливающие устройства учитывают только усредненные природные воздействия в направлении продольного сноса, бокового сноса и рыскания. Сначала оценивается допустимая тяга подруливающих устройств (см. 0), а затем она вычитается из усредненного воздействия. Остаток усредненного воздействия, а также волновые и низкочастотные движения удерживаются системой позиционирования.

Для сооружений с двухточечными системами позиционирования, где устойчивость курса плавучего сооружения поддерживается за счет якорных линий, компоненты продольного и бокового сноса допустимой тяги могут быть вычтены из среднего продольного и среднего бокового природного воздействия. Отклик системы позиционирования затем оценивается путем анализа систем позиционирования без подруливающих устройств, см. 9.8.1 - 9.8.3.

9.9.4.3 Контроль курса и демпфирования продольного сноса

Для сооружений с одноточечными причальными устройствами основной функцией подруливающих устройств является контроль курса. Для сооружений с большой мощностью движителей, которая значительно превышает требования по контролю курса, имеющаяся мощность может быть распределена между управлением курсом и осуществлением низкочастотного демпфирования пульсаций.

9.9.4.4 Динамический анализ системы

Динамический анализ системы должен выполняться во временной области. Эта модель должна вырабатывать среднее смещение, низкочастотные движения сооружения, характеристики системы управления и отклик подруливающих устройств, которые соответствуют специфическим природным условиям.

9.10 Анализ переходных процессов движения плавучего сооружения

9.10.1 Общие требования

Удерживаемое плавучее сооружение испытывает неустановившиеся движения после обрыва линии, или отказа подруливающего устройства, перед тем, как будет найдено новое равновесное положение, см. 9.1.1.4. Анализ переходных процессов выполняется для проверки максимального смещения, которое произошло после указанных событий, в соответствии с Таблицей 1.

Анализ переходных процессов удерживаемого сооружения под воздействием волн, ветра, течения и подруливающих устройств является сложным, и может потребовать решения во временной области. Для упрощения анализа может использоваться комбинированный подход, как это описано в п. 9.10.2.

9.10.2 Комбинированные анализы во временной и частотной областях

В этом подходе максимальное переходное движение сначала определяется на основе анализа во временной области. Низкочастотные движения, а также движения с частотой волны, полученные при проведении анализа в частотной области, затем объединяются с переходными движениями. Рекомендуется выполнить следующую процедуру.

а. Вычислить равновесное положение при среднем воздействии на неизменную систему позиционирования.

б. Смоделировать обрыв линии и вычислить максимальное переходное движение (переход за пределы положения статического равновесия) во временной области лишь со средней нагрузкой, но с жесткостью системы позиционирования, которая уточняется на каждом временном этапе. В целом, требуется модель с тремя степенями подвижности (продольный снос, боковой снос и рысканье).

с. Определить максимальное смещение сооружения

$$S_{\max} = S_{\text{mean}} + S_{\text{lfsig}} + S_{\text{wfsig}} + S_{\text{t}} \quad (11)$$

Где:

S_{mean} - среднее смещение, как вычислено в шаге а, в метрах (м);

S_{lfsig} - положительное значение существенного низкочастотного движения, вычисленного в частотной области с использованием жесткости системы позиционирования в состоянии контроля по избыточности, в метрах (м);

S_{wfsig} - положительное значение важного движения по частоте волны, вычисленное в частотной области, в метрах (м);

S_{t} - максимальное переходное движение (переход за пределы положения статического равновесия) по отношению к равновесному положению от шага а, как это определено в шаге б, в метрах (м).

9.10.3 Анализ во временной области

Переходный анализ во временной области аналогичен анализу во временной области отклика сооружения, описанного в п. 9.3.1.3. Единственным различием является то, что якорная оттяжка снимается при моделировании с целью моделирования обрыва линии. Моделирование повторяется по количеству временных зависимостей воздействия и обрыва, который происходит на различных временных этапах для каждой временной зависимости. Должно использоваться максимальное наблюдаемое смещение в ходе указанного моделирования, или максимальное рассчитанное смещение на основе результатов этого моделирования, см. 9.3.2.

10 Усталостный анализ систем позиционирования

10.1 Общие требования

Усталостный анализ представляет собой сложный процесс с многими неопределенностями. Стандартные процедуры усталостного анализа представлены в этом документе. Альтернативные процедуры также могут использоваться, при условии, что они могут быть документально оформлены для достижения аналогичных уровней надежности по сравнению с процедурами, представленными здесь.

Для определения суммарного усталостного разрушения должен использоваться закон Майнера. В отношении основных компонентов якорных линий (т.е. цепей, стальных тросов и соединительных звеньев), вычисления закона Майнера могут основываться на диапазоне натяжения (так называемом

«Т-N подходе»), как это описывается ниже, или на основе диапазона напряжений (так называемом «S-N подходе»), как это описано в А.9.1. Для других компонентов, таких как якорные сваи и принадлежности, как правило, используется «S-N подход».

Динамические анализы во временной и/или частотной областях используются для определения диапазонов растяжения или напряжения. Квазистатический анализ может использоваться только при условии его полного документального оформления для достижения уровней надёжности, сопоставимых с теми, которые получены с помощью динамического анализа во временной и/или частотной области. Данные модельных испытаний в бассейне могут использоваться вместо динамических анализов, при условии, что эти данные полностью документально оформлены и пригодны для усталостного анализа.

Определение усталостной прочности некоторых типичных компонентов систем позиционирования указано в п. 10.2. Усталостная прочность канатов из синтетических волокон обсуждается в Статье 15.

Процедуры вычислений с целью определения циклов растяжения приведены в п.10.3. Приведено несколько подходов для определения усталостного разрушения, включая варьирующие степени упрощения суммирования разрушения на основе закона Майнера.

10.2 Усталостная прочность

10.2.1 Стальной трос, цепь и соединительные звенья

Усталостная прочность стального троса, цепи, соединительных звеньев, а также других компонентов системы позиционирования, показана кривыми Т-N, где диапазон растяжения, Т (как правило), безразмерен, путем деления на приемлемую эталонную прочность при разрыве, а N представляет собой допустимое количество циклов. Кривые Т-N основываются на данных усталостных испытаний для этих компонентов, а также регрессивном анализе.

Репрезентативные кривые Т-N для некоторых стальных тросов, цепей, а также соединительных звеньев, представлены в п. 10.2.2. Кривые Т-N используются для оценки усталостных условий типа «растяжение-растяжение» (Т-Т) в соответствии с п. 10.2.3. Изгиб-растяжение (В-Т), а также усталостные условия со свободным изгибом рассматриваются в п. 10.2.4.

10.2.2 Кривые Т-N

Уравнение в отношении репрезентативной кривой Т-N имеет следующий вид

$$N T^m = K \quad (12)$$

Где:

N - количество разрешенных циклов отношения допустимого диапазона растяжения, Т;

T - отношение диапазона растяжения (двойная амплитуда) к эталонной прочности при разрыве компонента (соответствующая эталонная прочность для каждого типа компонентов приведена ниже);

m обратный уклон усталостной кривой Т-N;

K - постоянная.

Кривые Т-N наносятся на миллиметровую бумагу в качестве прямых линий.

Значения *m* и *K* приведены в Таблице 3 в отношении ограниченной выборки цепных звеньев, соединительных звеньев и компонентов стальных тросов.

Т а б л и ц а 3 — Значения *m* и *K* для репрезентативных кривых Т-N

Компонент	<i>m</i>	<i>K</i>
Общее звено с контрфорсом	3,00	1 000
Общее звено без контрфорса	3,00	316
Соединительное звено Болдта и Кентера	3,00	178
Шести /многониточный стальной трос (с антикоррозионной защитой)	4,09	$10(3,20 - 2,79 Q)$ = 231, when $Q = 0,3$
Спирально завитой стальной трос (с антикоррозийной защитой)	5,05	$10(3,25 - 3,43 Q)$ = 166, когда $Q = 0,3$
ПРИМЕЧАНИЕ Q – отношение среднего натяжения к минимальной прочности на разрыв (MBS) стального каната.		

Эталонная прочность на разрыв для R3, R4, и R4S (общих или соединительных звеньев) равна минимальной прочности на разрыв (MBS) общего звена цепи марки ORQ (Oil Rig Quality) того же диаметра.

Чтобы сделать допуск на коррозию и износ при определении эталонной прочности на разрыв общих и соединительных звеньев R3, R4, и R4S, их диаметр должен быть равен номинальному диаметру минус половина допуска на коррозию и износ.

В таблице 3 указано, что усталостная прочность цепи без контрфорса меньше, чем у соответствующей цепи с контрфорсом. Тем не менее, наличие контрфорсов привносит ряд возможных усталостных аспектов, которые нельзя обнаружить осмотром (т.е. ослабленные контрфорсы, трещины в сварных швах контрфорсов, острые углы в основании контрфорсов, коррозия между контрфорсом и звеном, и дефекты, которые скрыты за контрфорсом). Уравнения для цепи с контрфорсом не действует для звеньев с ослабленными контрфорсами. Поэтому важно учитывать все факторы, влияющие на усталостную прочность при выборе типа цепи.

Кривая T-N для соединительных звеньев Болдта и Кентера основана на ограниченных данных усталостных испытаний.

На основе ограниченных усталостных данных усталостная прочность D-образных смычек сравнима с общими звеньями аналогичного размера и марки, при условии, что смычки обработаны, чтобы входить с малым допуском. В корпусе смычки шплинт не используется, и смычка имеет узкий зев.

Для других типов соединительных звеньев, если опубликованных данных недостаточно для построения кривых усталостной прочности, то должны проводиться соответствующие испытания с целью построения кривых для использования таких звеньев в стационарных системах позиционирования. Испытания должны проводиться, чтобы их характер согласовывался с испытаниями, на результатах которых основываются кривые T-N, перечисленные в Таблице 3.

Эталонная прочность на разрыв стального каната равна его MBS.

Кривые T-N для стального каната основываются на данных усталостного испытания для 6 - ниточного, многониточного и спиралевидного троса. Как показано в Таблице 3, усталостная прочность стального троса является функцией среднего натяжения в тросе, который в системе позиционирования с цепными якорными линиями, как правило, составляет 0,2 - 0,3 MBS. Усталостная оценка стального троса учитывает эффект среднего натяжения в соответствии с п. 10.3.3.

Усталостные данные по стальному тросу основаны на испытаниях в которых не учитываются эффекты коррозии. Поэтому, кривые T-N в Таблице 3 соответствуют лишь стальным тросам с антикоррозийной защитой, например, с гальванической, плакирующей оболочкой, с защитным компаундным соединением, а также могут рассматриваться провода с цинковым наполнителем. При использовании стального троса, как части стационарной системы позиционирования, расчетный срок службы, освидетельствование, а также стратегия замены должны учитываться при определении комбинации систем антикоррозийной защиты, которая необходима для использования в каждом конкретном случае.

10.2.3 Усталость типа «натяжение – натяжение» (T-T)

Компоненты цепи, соединительного звена и стального троса систем позиционирования, подверженных натяжению, должны проектироваться с учетом усталостной прочности, которая определяется в соответствии с п. 10.2.2 для вычисления усталостного разрушения в соответствии с п. 10.3.3. Оценка усталости других компонентов систем позиционирования, подверженных чистому натяжению, которое может моделироваться с помощью кривых T-N, также должна выполняться в соответствии с п. 10.2.2 и п. 10.3.3, при условии, что соответствующие кривые T-N существуют, или могут быть построены.

10.2.4 Усталость типа «изгиб-натяжение» (B-T) и усталость при свободном изгибании

Комбинация изгибания-натяжения стальных тросов и цепей, как правило, происходит в таких местах, как направляющие блоки, гибочные башмаки, стопоры цепей, полуклюзы, ограничители изгибания, а также грузы для стабилизации линий и среднеглубинные буи. В этих местах усталостное разрушение типа «натяжение-натяжение» усиливается за счет наличия изгибания, а также за счет возможных дополнительных эффектов, связанных с износом и коррозией.

При отсутствии пригодных данных по усталостному разрушению вследствие изгибания-натяжения стальных тросов, и отношение диаметра изгиба к диаметру стального троса должно быть довольно значительным, чтобы избежать чрезмерного изгибания (см. Таблицу A.4).

Усталостный анализ стального троса и цепей должен адекватно учитывать дополнительную концентрацию напряжения в точках непосредственного контакта. Усталостное разрушение в таких условиях может быть снижено за счет проведения регулярного осмотра и регулировки линий, чтобы избежать концентрации изгибания в одном месте.

Свободное изгибание окончностей стального троса может вызывать значительное усталостное разрушение и уменьшать срок наступления усталости. Должны устанавливаться устройства, ограничивающие изгибание, в таких местах. Такие устройства конструируются, чтобы плавно переносить усилия от окончаний на трос в условиях осадки и смещения сооружения.

10.3 Процедура усталостного анализа

10.3.1 Общие требования

Процедура вычислений натяжения линий для усталостного анализа приведена в п. 10.3.3.2. Рекомендованные процедуры усталостного анализа описаны в п.10.3.2 и п. 10.3.3, в то время как коэффициент запаса усталостной прочности приведен в п. 11.5.

10.3.2 Суммарное усталостное разрушение

Суммарное усталостное разрушение в течение расчетного срока службы, L , принимается равным L , умноженным на годовое усталостное разрушение. Годовое усталостное разрушение компонентов линий определяется, как сумма годового усталостного разрушения, возникающего в виде комбинации n расчетных состояний позиционирования (MDS). Каждое MDS состоит из

Состояния моря в выбранном направлении, которое выбрано с целью дискретизировать долговременные природные условия, в которых находится система позиционирования,

Вероятности возникновения состояния моря,

Среднего смещения и курса, представляющего эффекты состояния моря, с сопутствующим ветром и течением, а также

Репрезентативные нагрузочные условия (т.е. условия осадки) плавучего сооружения.

Годовое усталостное разрушение вычисляется следующим образом:

$$D = \sum_{i=1}^n D_i \quad (13)$$

Где:

D - годовое усталостное разрушение компонента якорной линии, лет–1;

D_i - годовое усталостное разрушение выраженное в минимальной прочности на разрыв MDS_i , лет–1.

Дискретизация в $i = 1, \dots, n$ комбинации должна учитывать чувствительность вычисления усталости к принятым входным параметрам, включая эффекты от:

Вариации направлений результирующего среднего природного воздействия,

Существенной высоты волны,

Спектрального пикового периода или среднего пересекающего нуль периода,

Спектральной пиковершинности,

Среднего смещения плавучего сооружения (из-за медленного дрейфа, течения или других эффектов),

Гидродинамического демпфирования из-за течения или движения медленного дрейфа,

Расчетного диапазона профилей течения с глубиной, и

Нагрузочных условий плавучего сооружения.

10.3.3 Оценка усталостного разрушения

10.3.3.1 Общие требования

После того, как определена общая конфигурация и влияние входных данных окружающей среды, упомянутых в 10.3.2, репрезентативные данные по каждой MDS отбираются и документируются в качестве базиса долговременной усталостной оценки. Каждое природное условие определяется в терминах параметров ветра, волн и течения и их направлений. Нагрузочные условия плавучего сооружения выражаются в терминах осадки, посадки и статического крена (соответствующих конкретному распределению груза и балласта).

Необходимо определить годовую вероятность возникновения P_i , MDS_i . Как правило, должны рассматриваться от восьми до десяти направлений, как представляющих распределение по направлениям долговременных природных условий. Оценка чувствительности, как это описано в п. 10.3.2, может использоваться для выявления количества состояний моря, необходимых для адекватного долговременного представления, обычно, это 10 - 50. Как правило, трех условий

нагружения плавучих сооружений бывает достаточно. Речь идет о плавучем сооружении полностью нагруженном, полностью в балласте и представительном долговременном “среднем” эксплуатационном состоянии. Если система позиционирования работает в различных режимах, например, с/без пришвартованного сооружения, то для каждого режима должен выполняться отдельный анализ.

Годовое усталостное разрушение, накопленное в отдельном MDS, вычисляется так:

$$D_i = \left[\sum_k \frac{n_k}{N_k} \right]_i \quad (14)$$

Где:

n_k - количество циклов безразмерного диапазона натяжения T_k возникающего в MDS $_i$, в год;

N_k - количество допустимых циклов для безразмерного диапазона натяжения T_k из Уравнения (12), в год;

T_k - безразмерный диапазон натяжения, как это определено в п. 10.2.2.

Количество циклов диапазона натяжения в год в каждой MDS может быть определено как:

$$n_i = f_i X_i = f_i \cdot P_i \cdot C1 \quad (15)$$

Где:

f_i - нулевая частота пересекающая снизу вверх спектр натяжения в MDS $_i$, в герцах;

X_i - время, потраченное в MDS $_i$ в год, с;

P_i - вероятность возникновения MDS $_i$;

$C1$ - среднее количество секунд в год = $3,15576 \times 10^7$ с.

ПРИМЕЧАНИЕ Упрощенная запись Уравнения (14) представлена в А.9.3.3.1, где T_k вытекает из распределения Рэйли, а кривая T-N согласуется с формой Уравнения (12).

10.3.3.2 Вычисление диапазона натяжения

При выполнении анализа в частотной области, стандартное отклонение низкочастотного натяжения вычисляется в районе среднего смещения плавучего сооружения для каждой MDS, т.е.

$$slf_eff = Tlf_mean + stdev - Tmean \quad (16)$$

Где:

slf_eff - эффективное стандартное отклонение низкочастотного натяжения, в ньютонах (Н);

$Tlf_mean + stdev$ - натяжение при $Smean + slf_s$, в ньютонах (Н);

$Tmean$ - натяжение при среднем смещении, в ньютонах (Н);

$Smean$ - среднее смещение сооружения, в метрах (м), как определено в п. 9.2.2;

slf_s - стандартное отклонение низкочастотного движения смещения от верхней оконечной точки до якоря, для каждой линии, в метрах (м).

Стандартное отклонение натяжения на частоте волны также вычисляется в районе среднего смещения плавучего сооружения для каждой MDS.

При выполнении анализа во временной области временная зависимость натяжения может быть прямо вычислена на основе анализа.

10.3.3.3 Объединение натяжения на частоте волны и низкочастотного натяжения

10.3.3.3.1 Общие требования

Для оценки усталостного разрушения могут использоваться следующих четыре метода для объединения разрушения из-за натяжения на частоте волн и низкочастотного натяжения.

а. Простое суммирование: разрушение на частоте волн и низкочастотное разрушение вычисляются по отдельности, а суммарное разрушение берется как сумма двух разрушений.

б. Комбинированный спектр: стандартные отклонения диапазонов натяжения на частоте волны и диапазоны низкочастотного натяжения вычисляются независимо друг от друга, на основе временных серий спектра натяжения на частоте волн, и спектра натяжения на низких частотах; стандартное отклонение комбинированного отклика вычисляется с использованием Уравнения (19). Разрушение затем вычисляется с использованием комбинированного стандартного отклонения.

с. Комбинированный спектр с двойным узкополосным поправочным коэффициентом: поправочный коэффициент применяется по отношению к результату, полученному методом комбинированного спектра, представленного в б.

d. Подсчет циклов во временной области: усталостное разрушение вычисляется на основе временной зависимости натяжения с использованием метода подсчета, такого как «метод дождя», для оценки величины и количества циклов в диапазоне натяжения. Временную зависимость натяжения можно определить непосредственно путем анализа во временной области, либо она может быть определена на основе комбинированного анализа в низкочастотном спектре, и в спектре частоты волн.

Относительные преимущества каждого из этих методов приведены ниже.

Метод а, простое суммирование, в принципе не является консервативным, но может применяться в отношении MDS, если вклад низкочастотного натяжения в суммарный отклик натяжения является незначительным [$\lambda_{Li} < 0,15$, см. формулу (21)].

Метод b, комбинированный спектр, в целом консервативный, и может применяться в отношении любого MDS.

Метод с, комбинированный спектр с двойным узкополосным поправочным коэффициентом, является усовершенствованием, которое позволяет получить менее консервативные прогнозы, чем с использованием метода b, и который также может применяться в отношении любой MDS. Тем не менее, усовершенствование может исчезнуть в MDS, где низкочастотное натяжение сильно доминирует.

Метод d, подсчет циклов во временной области, при неукоснительном использовании с достаточным количеством моделирований во времени представляет диаграмму рассеяния волн, и, в целом, считается наиболее достоверным методом вычисления усталостного разрушения и должен использоваться в случаях, когда имеются временные зависимости комбинированного низкочастотного натяжения и натяжения на частоте волны.

Анализ процедур по методам а, b и с представлен в п. 10.3.3.3.2 - 10.3.3.3.4.

10.3.3.3.2 Простое суммирование

Годовое усталостное разрушение D_i для состояния MDS_i определяется путем использования по отдельности Уравнений (14) и (15) применительно к диапазонам натяжения на частоте волн и низкочастотного диапазона натяжения. Результат дан в Уравнении (17):

$$D_i = \frac{n_{Wi}}{K} \left(2\sqrt{2}\sigma_{Wi} \right)^m \times \Gamma \left(1 + \frac{m}{2} \right) + \frac{n_{Li}}{K} \left(2\sqrt{2}\sigma_{Li} \right)^m \times \Gamma \left(1 + \frac{m}{2} \right) \quad (17)$$

Где обозначения используются, как это определено в п. 10.2.2. Обозначения с нижним индексом Wi относятся к натяжению в MDS_i только применительно к возбуждению на частоте волны, в то время, как обозначения с нижним индексом Li относятся к натяжению в MDS_i только за счет низкочастотного возбуждения, и где:

n_{Li} - количество циклов низкочастотного диапазона натяжения в год для MDS_i на основании Уравнения (15), в котором средняя нулевая частота пересечения снизу вверх может быть вычислена путем $1/t_n$, где t_n – период собственной частоты (продольный снос, боковой снос и/или рысканье, в зависимости от ситуации) удерживаемого сооружения, вычисленное в его среднем положении;

n_{Wi} - количество циклов натяжения с частотой волны в год в MDS_i на основе Уравнения (15);

σ_{Li} - отношение стандартного отклонения вариаций низкочастотного натяжения в районе среднего натяжения к эталонной прочности на разрыв;

σ_{Wi} - отношение стандартного отклонения вариаций натяжения на частоте волны в районе среднего натяжения к эталонной прочности на разрыв;

Γ - гамма функция.

K и m определены в 9.2.2.

ПРИМЕЧАНИЕ Стандартное отклонение распределения вероятности диапазона натяжения в два раза больше стандартного отклонения натяжения.

10.3.3.3.3 Комбинированный спектр

Годовое усталостное разрушение D_i для состояния MDS_i определяется следующим образом на основе распределения Рэйли пиков натяжения:

$$D_i = \frac{n_i}{K} \left(2\sqrt{2}\sigma_i \right)^m \times \Gamma \left(1 + \frac{m}{2} \right) \quad (18)$$

где:

σ_i - отношение стандартного отклонения комбинированных вариаций низкочастотного и на частоте волны натяжения в районе среднего натяжения к эталонной прочности на разрыв

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{Wi}^2 + \sigma_{Li}^2} \quad (19)$$

n_i - количество циклов диапазона натяжения в год в MDS i на основе Уравнения (15), в котором средняя нулевая частота пересечения снизу вверх определяется следующим уравнением:

$$f_{Ci} = \sqrt{\lambda_{Wi} f_{Wi}^2 + \lambda_{Li} f_{Li}^2} \quad (20)$$

f_{Wi} - нулевая частота пересечения снизу вверх спектра натяжения на частоте волны в MDS i , в герцах (Гц);

f_{Li} - нулевая частота пересечения снизу вверх низкочастотного спектра натяжения в MDS i , (вычисленное, как описано по n_{Li} в п.10.3.3.3.2), в герцах (Гц);

$$\lambda_{Li} = \frac{\sigma_{Li}^2}{\sigma_{Li}^2 + \sigma_{Wi}^2} \quad (21)$$

$$\lambda_{Wi} = \frac{\sigma_{Wi}^2}{\sigma_{Li}^2 + \sigma_{Wi}^2} \quad (22)$$

10.3.3.3.4 Комбинированный спектр с двойным узкополосным поправочным коэффициентом

Годовое усталостное разрушение для состояния MDS i определяется на основе:

$$D_i = \rho_i \frac{n_i}{K} (2\sqrt{2}\sigma_i)^m \times \Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right) \quad (23)$$

Где:

$$\rho_i = \frac{f_{ei}}{f_{Ci}} \left[(\lambda_{Li})^{\left(2 + \frac{m}{2}\right)} \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_{Wi}}{\lambda_{Li}}}\right) + \sqrt{\pi \lambda_{Li} \lambda_{Wi}} \frac{m \Gamma\left(\frac{1+m}{2}\right)}{\Gamma\left(1 + \frac{m}{2}\right)} \right] + \frac{f_{Wi}}{f_{Ci}} (\lambda_{Wi})^{\frac{m}{2}} \quad (24)$$

f_{ei} - средняя частота пересечения снизу вверх конверта нормализованных вариаций натяжения в районе среднего натяжения

$$f_{ei} = \sqrt{\lambda_{Li}^2 f_{Li}^2 + \lambda_{Li} \lambda_{Wi} f_{Wi}^2 \delta_{Wi}^2} \quad (25)$$

$\square_{Wi}$ - параметр частотного диапазона для компонента на частоте волны нормализованных вариаций натяжения в районе среднего натяжения, которые могут быть взяты равными 0,1.

Значения гамма-функций в отношении некоторых стандартных значений m даны в Таблице 4.

Т а б л и ц а 4 — Гамма функции

m	3,00	4,09	5,05
$\Gamma\left[1 + \frac{m}{2}\right]$	1,329	2,086	3,417
$\Gamma\left[\frac{1+m}{2}\right]$	1,000	1,373	2,047

10.3.3.4 Учет среднего значения натяжения стального троса

Усталостное разрушение в стальном тросе зависит от среднего значения натяжения, а также от меняющегося во времени компонента. Для учета этого двойного эффекта сначала должно быть определено среднее натяжение для каждой линии в каждом MDS. Из Таблицы 3 должны быть выбраны соответствующие репрезентативные кривые Т-Н для вычисления усталостного разрушения для этого MDS. Это значит, что в принципе различные репрезентативные кривые Т-Н могут применяться для каждой линии в каждом MDS.

11 Расчетные критерии

11.1 Смещение плавучего сооружения

Ограничения по смещению плавучего сооружения устанавливаются требованиями к допускам и ограничениям по удовлетворительной работе оборудования, такого как шлангокабели, райзеры и переходные площадки, а также, которое требуется для безопасной работы любой системы отключения/разъединения. В целом, различные критерии применяются в отношении неизменных условий, контроля по избыточности и переходных движений и подробно об это описано ниже.

Удаление плавучего сооружения от месторасположения скважины на дне моря должно контролироваться, чтобы не допустить повреждения бурового оборудования, не затруднить доступ к скважине, или не повредить добычные райзеры.

11.2 Ограничение натяжения линии

Для линии ограничение по натяжению должно быть выражено в виде процента от ее MBS после вычета на коррозию и износ.

Ограничения по натяжению в различных условиях и для разных методов анализа должны устанавливаться в соответствии с данными Таблицы 5, в которой также указаны коэффициенты надежности конструкции. Эти ограничения применяются только в отношении надлежащим образом эксплуатируемых якорных линий и систем, у которых соединительные элементы имеют значения MBS выше, или равные значениям для якорных линий.

Аналогичные ограничения по натяжению якорных линий применяются в отношении систем позиционирования с использованием подруливающих устройств (ТАМ), при условии, что система движителей спроектирована с соответствующим уровнем надежности, и способна давать значительный вклад в способность удерживать плавучее сооружение.

Т а б л и ц а 5 — Ограничения по натяжению линий и коэффициенты надежности конструкции предельного состояния по прочности ULS

Условие анализа	Метод анализа	Ограничение по натяжению линии (% от MBS)	Коэффициент надежности
неповрежденное	квазистатический	50 %	2,00
неповрежденное	динамический	60 %	1,67
контроль запаса прочности	квазистатический	70 %	1,43
контроль запаса прочности	динамический	80 %	1,25
переходное	квазистатический или динамический	95 %	1,05

11.3 Длина участков якорных линий, находящихся на дне

Если используются якоря, заглубляемые протаскиванием, то длина обращенной к морю линии должна быть достаточной, чтобы не допустить подъема якоря в силу любого из условий, указанных в п. 9.1.1.5, если только не продемонстрировано, что якорь имеет достаточное сопротивление подъему вверх. Рекомендации по использованию якорей, врезающихся в грунт, для противодействия вертикальным силам приведены в А.10.4.2.

Для систем позиционирования, которые способны противостоять существенным вертикальным подъемным силам могут использоваться более короткие находящиеся на дне линии. К указанным системам относятся анкерные сваи, вакуумные кессонные сваи, или якоря с демонстрируемой адекватной сопротивляемостью подъему.

11.4 Системы постановки на якорь

11.4.1 Общие требования

Существующие системы постановки на якорь включают в себя:

- якоря, заглубляемые протаскиванием,
- якорные сваи (забивные, устанавливаемые засасыванием, забуриваемые и цементируемые);
- якоря иных типов, например, гравитационные, заглубляемые засасыванием и якорные плиты.

При выборе альтернативных типов якорей нужно учитывать необходимые рабочие параметры, параметры грунта, надежность, монтаж и испытательную нагрузку. Конструктивная прочность якорей демонстрируется и должна быть адекватной по отношению к необходимой удерживающей способности фундамента.

11.4.2 Якоря, заглубляемые протаскиванием

Конечная удерживающая способность якоря, заглубляемого протаскиванием, представляет максимальный горизонтальный компонент равномерного тянущего усилия, которому можно противостоять с помощью якоря, врезавшегося в грунт. Это включает противодействие грунта в заглубленной части цепи или стального троса, но исключает трение цепи или троса, лежащего на дне.

Для стандартных систем позиционирования и условий грунта (т.е., однородной плотной глины в диапазоне от мягкой до средней), самое большое из экстремальных натяжений якорных линий не превышает предельной удерживающей способности, деленной на расчетный коэффициент надежности, приведенный в Таблице 6.

Т а б л и ц а 6 — Расчетные коэффициенты надежности удерживающей способности якоря, заглубляемого протаскиванием, для предельного состояния ULS

		Квазистатический анализ	Динамический анализ
Стационарная система позиционирования	неповрежденное состояние	отсутствует	1,50
	контроль запаса прочности	отсутствует	1,00
Мобильная система позиционирования	неизменное условие	1,00	0,80
	контроль запаса прочности	не требуется	не требуется

Факторы, указанные в Таблице 6, не обязательно относятся к якорным плитам, заглубляемым протаскиванием, которые более подробно обсуждаются в А.10.4.4.2.1.4.

11.4.3 Якорные сваи

Репрезентативные вертикальные и горизонтальные сопротивления якорных свай должны определяться в соответствии с требованиями к стационарным стальным конструкциям, сообразно обстоятельствам. Вертикальные и горизонтальные компоненты наибольшего из экстремальных значений натяжения якорных линий, полученные с помощью динамического анализа, не превышают репрезентативные значения сопротивления, деленного на расчетные коэффициенты надежности, приведенные в Таблице 7.

Т а б л и ц а 7 — Расчетные коэффициенты надежности ULS для удерживающей способности анкерных свай и вакуумных свай

Условие анализа	Долговременная система позиционирования		Перемещаемая система позиционирования	
	Осевая нагрузка	Боковая нагрузка	Осевая нагрузка	Боковая нагрузка
Неповрежденное состояние	2,00	1,60	1,50	1,20
Контроль запаса прочности	1,50	1,20	1,20	1,00

11.4.4 Другие типы якорей

Расчетные критерии для гравитационных якорей и якорных плит даны в Таблице 8. Другие типы якорей могут использоваться при условии, что можно документально оформить достижение ими аналогичных уровней надежности по отношению к якорям, которые обсуждались в Таблицах 6, 7 и 8. Расчетные коэффициенты надежности определяются в качестве анкерной способности на основе конверта отказов деленного на экстремальные значения анкерных сил, вычисленных в ходе динамического анализа.

Т а б л и ц а 8 — Расчетные коэффициенты надежности для удерживающей способности при предельном состоянии ULS гравитационных и якорных плит

	Гравитационный якорь				Якорная плита	
	Долговременная система позиционирования		Перемещаемая система позиционирования		Долговременная система позиционирования	Перемещаемая система позиционирования
Условия анализа	Осевая нагрузка	Боковая нагрузка	Осевая нагрузка	Боковая нагрузка		
Неповрежденное состояние	2,00	1,60	1,50	1,20	2,00	1,50
Контроль запаса прочности	1,50	1,20	1,20	1,00	1,50	1,20

11.4.5 Удерживающая способность цепей и стальных тросов

Удерживающая способность на основе функции цепи и стального троса, лежащих на дне, можно определить с помощью следующей формулы:

$$F_{cw} = C_f / c_w W_{cw} \quad (26)$$

Где:

- F_{cw} - удерживающая способность цепи или стального троса, в ньютонах (Н);
- C_f - коэффициент трения между цепью или стальным тросом и морским дном;
- $/c_w$ - длина цепи или стального троса, контактирующая с дном моря, в метрах (м);
- W_{cw} - вес единицы погруженной цепи или стального троса, в ньютонах на метр (Н/м).

11.4.6 Испытательная нагрузка на системы позиционирования

11.4.6.1 Общие требования

Все системы позиционирования подвергаются испытаниям под нагрузкой перед началом использования и еще раз после внесения существенных изменений в конфигурацию системы позиционирования, намеренно либо в результате природных или случайных событий. Испытания под нагрузкой предназначены для обеспечения адекватной удерживающей способности системы позиционирования, устранения слабину части линий, лежащих на дне, и обнаружения любых существенных повреждений компонентов системы позиционирования при монтаже. Требования к таким испытательным нагрузкам определяются конструктором в соответствии со следующими подпунктами. Более подробная информация по испытательной нагрузке кессонных и якорных плит дана в А.10.4.6.1.

Следует помнить, что испытательная нагрузка для системы позиционирования должна быть установлена достаточно высокой, чтобы дополнительное волочения для противостояния расчетному неизменному воздействию слишком не нагрузило соседние линии. Более подробно это обсуждается в А.10.4.2.1, А.10.4.2.10 и А.10.4.2.11.

11.4.6.2 Стационарные системы позиционирования

Для швартовки якорных линий с якорями заглубляемого в грунт типа, величина нагрузки при испытаниях в мягкой глине, где возможно глубокое проникновение якоря, должна быть, по меньшей мере, 80% от силы, вызванной внешними расчётными условиями, как определено расчетом динамическим методом для неповрежденного состояния (см. А.10.4.6.2).. В твердом, песчаном или слоистом грунте, где заглубление якоря ограничивается не более чем одной лапой якоря, величина нагрузки при испытаниях должна быть выше и доходить до 100% или больше от силы, вызванной внешними расчётными условиями, как определено расчетом динамическим методом для неповрежденного состояния»

Для якорных линий с неподвижными якорями, например, анкерными сваями, величина испытательной нагрузки должна быть достаточной для обеспечения правильной установки компоновки линии и обеспечения того, чтобы инверсная кривая провеса цепи сформировалась в достаточной мере, чтобы не допустить неприемлемого ослабления линии из-за дополнительной отсечки инверсного провисания цепи в период шторма.

Испытательная нагрузка должна прикладываться не менее чем на 15 мин.

Следует помнить, что натяжение при монтаже также должно быть достаточно высоким, чтобы формировалось дополнительное волочение для противодействия расчетному неизменному

воздействию, чтобы оно не вызвало перегрузку соседних линий. Более подробно это обсуждается в А.10.4.2.1, А.10.4.2.10 и А.10.4.2.11.

11.4.6.3 Мобильные системы позиционирования

Для якорных линий с якорями, врезающимися в грунт, испытательная нагрузка для монтажа должна определяться с учетом ряда факторов, включая тип якоря, условия грунта, ограничения лебедки по тянущему усилию, а также извлечение якоря. По крайней мере, должно быть сделано следующее:

— Испытательная нагрузка для монтажа у лебедки должна быть не менее чем самое высокое значение из экстремальных значений натяжения для неизменной системы позиционирования в условиях расчетной ситуации для предельного состояния SLS;

— Испытательная нагрузка для монтажа в веретене якоря должно быть не менее трехкратного веса якоря;

— Для системы позиционирования, которые находятся поблизости от других установок, испытательная нагрузка для монтажа на лебедке не должна быть меньше среднего натяжения линии для неизменной системы позиционирования в условиях расчетной ситуации для предельного состояния ULS;

— Испытательная нагрузка для монтажа должна прикладываться не менее чем на 15 мин.

11.5 Коэффициент запаса усталостной прочности

Общий коэффициент запаса усталостной прочности должен соответствовать:

$$DT \gamma_F \leq 1,0 \quad (27)$$

Где:

DT - общее накопленное разрушение от всех источников в течение срока службы системы позиционирования;

$DT = D L +$ любое усталостное разрушение от других источников;

D - годовое усталостное разрушение, вычисленное в соответствии со Статьей **Ошибка!**

Источник ссылки не найден., лет⁻¹;

L - расчетный срок службы (из п. 10.3.2), лет;

γ_F - коэффициент запаса усталостной прочности.

Минимальное значение γ_F должно быть 3,0.

11.6 Коррозия и износ

Защита от коррозии и износа (включая разъедание металла) применяется для стационарных систем позиционирования.

Для цепей допуск на коррозию и износ обеспечивается за счет соответствующего увеличения диаметра звеньев. Увеличение определяется путем проведения специальной оценки условий площадки в зависимости от нескольких параметров, например, солености воды. Стандартными значениями допусков на коррозию и износ являются:

0,2 - 0,8 мм в год расчетного срока службы для элементов якорной линии в зоне смачивания или в зоне контакта на участке моря с твердым грунтом, и

0,1 - 0,2 мм в год расчетного срока службы применительно к оставшейся длине.

Коррозия стального троса в местах соединения с зажимом может ускоряться, если трос с гальваническим покрытием действует, как анод для соседних деталей. Для стационарных систем, либо трос должен быть электрически изолирован от зажимов, либо зажимы должны быть электрически изолированы от соседних деталей. Дополнительная защита от коррозии может быть обеспечена за счет добавления протекторных анодов на этом участке.

11.7 Расстояния безопасности

11.7.1 Общие требования

Расстояния безопасности между плавучим сооружением или компонентами его системы позиционирования, и другими установками, должны соответствовать национальным и/или федеральным нормативным актам, сообразно обстоятельствам. Если не существует иных руководств, то допуски, определяемые для условий, указанных в п. 9.1.1.5, должны удовлетворять требованиям п.п. 11.7.2 - 11.7.4.

11.7.2 Пересечение якорными линиями подводных трубопроводов

В местах, где якорные линии на возвышенном участке в зоне провеса пересекает подводный трубопровод, проложенный по дну, должен поддерживаться минимальный вертикальный зазор 10 м в неизменных условиях. Якорная оттяжка может проходить поверх и контактировать с защищенным трубопроводом при условии, что этот контакт не прерывается на всем протяжении неизменных участков натянутых линий т.е. контакт не возникает в зоне наброски.

11.7.3 Горизонтальное расстояние между сооружениями

Минимальный горизонтальный зазор в 10 м должен сохраняться между плавучим сооружением, включая его якорные линии, и любыми другими установками для всех имеющих отношение условий в соответствии с п. 9.1.1.5.

Требования по зазорам могут быть снижены после соответствующей оценки рисков.

11.7.4 Расстояния между якорем, заглубляемым протаскиванием, и другими сооружениями

Если путь от волочения якоря, заглубляемого протаскиванием, к плавучему сооружению будет проходить поблизости от другой установки, то окончательное положение якоря должна обеспечивать волочение не менее 300 м перед тем, как произойдет контакт с установкой. Иными словами, конечное положение якоря должно отстоять не менее, чем на 100 м от установки.

11.8 Поддерживающие конструкции

Репрезентативная стойкость поддерживающих конструкций, таких как стопоры якорной цепи, направляющие блоки, и их фундаменты, должна быть больше, чем аналогичные элементы якорных линий. Особое внимание нужно уделять проектированию поддерживающих конструкций, чтобы их отказ не привел к отказу многочисленных линий.

12 Оборудование систем позиционирования

12.1 Элементы якорных линий

12.1.1 Общие требования

Изготовление оборудования систем позиционирования должно выполняться с обеспечением качества на определенном уровне.

12.1.2 Стальной трос

Стальной трос линии не должен иметь волоконной сердцевины.

Расстояние между проволоками в тросе должно быть заполнено защитным компаундом хорошего качества.

Концы каждой секции троса должны быть пропитаны смолой, или иметь залитые цинком зажимы.

По всем другим аспектам стальные тросы якорных линий и концевые зажимы должны соответствовать требованиям, предъявляемым к материалам, конструкции, изготовлению и испытаниям, указанным в правилах соответствующих RCS, см. А.11.1.2.

12.1.3 Цепь

Якорная цепь должна изготавливаться по соответствующим правилам для морских якорных цепей, см. А.11.1.3.

12.1.4 Соединительные звенья

Соединительные звенья изготавливаются в соответствии с конкретными правилами для морских якорных цепей, см. А.11.1.4.

12.1.5 Пружинные буи

Поверхностные пружинные буи конструируются с целью нахождения на поверхности (т.е. максимальная степень погружения 67 %) во всех неизменных состояниях и состоянии контроля по избыточности, если только они не спроектированы для конкретной максимальной степени погружения. Они должны включать меры, такие как секционирование, чтобы свести к минимуму риск затопления в случае повреждения.

Подводные пружинные стальные буи, предназначенные для внешнего давления, конструируются в соответствии с требованиями признанного стандарта в отношении защитных оболочек для использования на максимальной рабочей глубине, которая определена на основе анализа системы позиционирования. Расчетный коэффициент надежности должен быть не менее 1,5 для стационарных систем позиционирования и 1,2 – для подвижных систем позиционирования. Более подробно аспекты стандартов по защитным оболочкам и расчетным коэффициентам надежности изложены в А.11.1.5.

Для буйев пенного типа допустимое гидростатическое давление определяется путем деления гидростатического сминающего давления на расчетный коэффициент надежности. Выбор расчетного коэффициента надежности зависит от стойкости и критичности буя.

Движения буя должны учитываться в конструкции соединительных звеньев для крепления к бую.

12.1.6 Якоря

Варианты типов якорей, на которые дается ссылка в п. 11.4.1, включают в себя:

- якоря, заглубляемые протаскиванием,
- анкерные сваи (ввинчиваемые, забиваемые с подмывом, вакуумные, торпедные и буронабивные) и

- другие типы якорей, такие как гравитационные якоря и якорные плиты.

Подробная информация по этим якорям дана в А.11.1.6.

12.2 Лебедки

Лебедки должны соответствовать требованиям, указанных в признанных на международном уровне стандартах по проектированию, см. А.11.2.

Якорные линии подвержены сильному износу и высоким напряжениям на участке направляющего блока и стопорных устройств. Направляющие блоки и стопорные устройства должны проектироваться с целью минимизации износа и усталостного разрушения компонентов якорных линий.

12.3 Оборудование для мониторинга

12.3.1 Натяжение якорных линий

Удерживаемые плавучие сооружения оборудуются откалиброванными системами для измерения натяжения якорных линий, если эксплуатационные требования предусматривают регулирование линий, а натяжение линий должно непрерывно отображаться на каждой лебедке. Для стационарных плавучих сооружений, для которых не требуется устройство для измерения натяжения, устанавливаются средства обнаружения неисправности системы позиционирования.

Для сооружений с подруливающими устройствами, которые предназначены для уменьшения натяжения якорных линий предусматриваются средства отображения показаний натяжения линий и/или смещения плавучего сооружения. Эти средства должны быть резервируемыми для перекрытия условия отказа одиночной линии.

12.3.2 Разматывание якорных линий

Если функционирование плавучего сооружения требует регулировки якорной линии, то линии снабжаются системой измерения разматывания линии.

12.3.3 Положение плавучего сооружения

Если требования к эксплуатационной технологичности накладывают ограничения на смещение плавучего сооружения, то сооружение должно быть оборудовано системой мониторинга ее

положения. Для мобильных морских буровых установок разворачивается система позиционирования для мониторинга расстояния от устья скважины/точки крепления райзеров до плавучего сооружения.

Для плавучих сооружений с динамической системой позиционирования определение положения должно резервироваться для перекрытия условия одиночного отказа.

12.3.4 Курс плавучего сооружения

Плавучие сооружения с односточечными системами позиционирования оборудуются аппаратурой для мониторинга курса.

Если нужно контролировать курс, то должны быть предусмотрены, по крайней мере, два различных курсовых датчика.

Если курс контролируется автоматически, то точность и скорость обновления обоих устройств должна соответствовать требованиям автоматического контроля. Если контроль курса критичный, то должны быть предусмотрены три независимых датчика курса, и опорное значение по дрейфу может быть отброшено без отклонения от курса.

Для MODU, должна быть дана ссылка на соответствующие спецификации, выпущенные IMO и IMCA, см. A.11.3.

13 Мониторинг технического состояния, инспектирование и техническое обслуживание

13.1 Общие положения

Требования к техническому контролю в процессе эксплуатации, мониторингу и техобслуживанию передвижных швартовок, которые регулярно извлекаются и повторно разворачиваются, хорошо отработаны (см. 13.2). Стационарные системы позиционирования должны оставаться на месте в течение всего расчетного срока службы. Меры по их долговременному техническому контролю в процессе эксплуатации, мониторингу и техобслуживанию, которые охватывают весь процесс позиционирования, могут эффективно реализовываться посредством системы Управления целостностью конструкций (SIM) в соответствии с п. 13.3.

13.2 Мобильные системы позиционирования

Технический контроль в процессе эксплуатации компонентов якорной линии должен соответствовать соответствующим правилам IMO, RCS или другим релевантным документам по MOU, см. A.12.2.

13.3 Стационарные системы позиционирования

13.3.1 Общие требования

Собственник обеспечивает проведение соответствующих мероприятий, которые обеспечивают мониторинг и поддержание целостности системы позиционирования в течение ее расчетного срока службы. Такие мероприятия включают в себя плановое техобслуживание и технический контроль системы, периодическую оценку ее состояния применительно к первоначальным ожидаемым результатам в ходе проектирования, оценку разрушения или предполагаемого разрушения, и организационные мероприятия по ремонту и/или замене в случае повреждения или устаревания. Периодические оценки должны отражать текущие эффективные практики и вносить накопленные знания и изменения в уровне риска согласно обстоятельствам. Частота, объем работ и методы технического контроля должны быть адекватными, чтобы обеспечить гарантию, вместе с сопутствующими оценками о том, что целостность системы позиционирования сохраняется.

Замена компонентов системы позиционирования может занять больше времени и заключать в себе дополнительный риск, особенно, если требуется привлечение водолазов. Замены компонентов, как части программы техобслуживания, нужно стараться избегать.

Цель системы SIM – обеспечить осуществление формального процесса по обеспечению целостности системы позиционирования на протяжении ее расчетного срока службы. Это предусматривает предоставление безопасных и эффективных средств технического контроля, мониторинга техобслуживания системы, а также ремонта и/или замены компонентов в соответствии с философией, описанной в п.

13.3.2 Философия системы по управлению целостностью конструкции

13.3.2.1 Общие требования

Подходы по управлению целостностью конструкции будут варьироваться в зависимости от продолжительности разработки месторождения, типа плавучего сооружения, конфигурации системы позиционирования, а также сложности или иных аспектов местной инфраструктуры. В свою очередь, эти факторы влияют на философский подход к техническим условиям системы SIM. Философия может меняться от одной, в которой акцент делается на использование оборудования мониторинга, до другой, в которой упор делается на интенсивное использование технического контроля. Некоторые предпочитают упреждающий подход в замене компонентов, поскольку другие исповедуют философию «замены только после поломки». Безусловно, что различия в философии приводят к различиям в подходе к разработке и внедрению системы SIM. Независимо от философии, результирующая система SIM должна восприниматься, как система поддержания целостности системы позиционирования на протяжении ее расчетного срока службы.

Разработка и внедрение системы SIM осуществляется посредством следующих этапов

- a. разработка базы данных и сбор данных,
- b. оценка,
- c. планирование,
- d. внедрение, и
- e. верификация.

Мероприятия по каждому этапу не обязательно взаимно исключающие, и поэтому происходит наложение мероприятий на различных этапах.

13.3.2.2 Разработка базы данных и сбор данных

База данных состоит из всей информации, имеющей отношение к проектированию, строительству и эксплуатации системы позиционирования, т.е. к особенностям, ошибкам и неопределенностям в проектировании, изготовлении, монтаже, плановых и внеплановых осмотрах, ремонтах, происшествиях, модификациях, изменениях в праве собственности, законодательных требованиях, мониторинге, и т.п.

Особое внимание должно быть уделено тем системам, компонентам и деталям, о которых известно, что они могут создавать проблемы, а именно:

Зоны смачивания и наброски на предмет коррозии и износа для якорных линий,

Окончания стальных тросов на предмет попадания воды, коррозии и усталости,

Соединительное оборудование на предмет усталости и коррозии,

Внутренние слои тросов на лебедках барабанного типа на предмет коррозии и износа, и

Тросы на пути направляющих блоков, ограничителей изгиба, стопоров и захватов на предмет износа и усталости.

База данных храниться в легко извлекаемом формате. Копии баз данных в нормальных условиях храниться на борту установки в дополнение к основной копии, которую собственник хранит на берегу.

13.3.2.3 Оценка

Оценка выполняется с учетом специфики сооружения и площадки, и основывается на философии «целевой пригодности». Это должно концентрироваться на расчетном сроке службы установки, но, как минимум, должно анализироваться ежегодно, а также при смене собственника, местоположения, аварий, ремонтов, модификаций и анализа данных инспектирования.

Оценка включает оценку рисков, анализ методом конечных элементов (FEA), а также другие формы оценок (если необходимо) всей системы, или ее частей, там, где возникло повреждение, или это может касаться известных проблемных зон, в зависимости от ситуации. Подход, основанный на проведении инспекций с учетом зон риска может, как правило, быть весьма полезным в процессе оценки и для планирования инспекций. Такой подход позволяет точно оценить вероятность и риски и иметь обратное действие по отношению к целевым показателям.

Там, где действует «вариант безопасности» посредством местных законодательных требований, такие варианты безопасности в нормальных условиях могут формировать часть оценки.

13.3.2.4 Планирование

Планирование выявляет процессы, процедуры и методики, которые необходимо внедрять, как результат этапа оценки, чтобы обеспечить реализацию оценки целевой пригодности. Механизмы отказа, степень ухудшения характеристик, а также последствия, отказа анализируются, чтобы определить методы, частоту и объем инспектирования, и возможный ремонт и замену.

13.3.2.5 Внедрение

Внедрение относится к детальному осуществлению процессов, процедур и методик, выявленных в ходе планирования и должно, в нормальных условиях, включать в себя программы, относящиеся к инспекциям, техобслуживанию, и мониторингу, а также выявлению потребностей в ремонте и/или замене.

Данные, собранные на этом этапе, а также информация, опубликованная на этапе планирования, должна включаться в уточнение баз данных, и это должно выполняться, по крайней мере, раз в год, если только отсутствует обоснование продления этого периода.

13.3.2.6 Верификация

Необходимо учитывать верификацию эффективного внедрения системы SIM независимой сторонней организацией.

14 Системы динамического позиционирования

14.1 Введение

14.1.1 Общие требования

Динамическое позиционирование представляет собой метод удержания, который состоит из бортовых подруливающих устройств (а иногда рулей), которые контролируются автоматически для поддержания плавучих сооружений в определенном положении и с конкретным курсом. Движущее усилие, вырабатываемое подруливающими устройствами, противостоит среднему и медленно меняющемуся воздействию ветра, волн и течению, чтобы удерживать сооружение с заданным допуском в нужной точке выше морского дна, а также с заданным курсом.

Эта часть ISO 19901 не приводит требований к проектированию системы ДП. Должна быть дана ссылка на соответствующие публикации IMO и RCS, см. А.13. Тем не менее, в последующих подпунктах обобщаются некоторые имеющие отношение факторы и даются другие требования, относящиеся к системам ДП.

14.1.2 Оборудование системы динамического позиционирования

Система динамического позиционирования состоит из многочисленных компонентов, включая подруливающие устройства, и их вспомогательные части, а также подачу электроэнергии, системы распределения и точки отсчета местоположения. Резервируемость оборудования динамического позиционирования представляет собой основной фактор общей надежности систем динамического позиционирования. Принято анализировать надежность подсистем ДП, таких как

Подсистема питания — пусковые двигатели и вспомогательное оборудование, генераторы, силовые шкафы, сопутствующие кабели и т.п.,

Подсистема подруливающих устройств — подруливающие устройства и вспомогательное оборудование, основные гребные винты и рули, сопутствующие кабели, и т.п.,

Подсистема управления — компьютеры и сопутствующее программное обеспечение, системы позиционирования, сенсорные системы, интерфейсы оператора, управление энергопотреблением, сопутствующие кабели, и т.д.

14.2 Проектирование и анализ

14.2.1 Анализ эффектов и режимов отказов

Учитывая потенциальные последствия потери положения плавучим сооружением, системы ДП проектируются, чтобы обладать высокой надежностью и иметь встроенную резервируемость. Режимы

отказа и анализ эффектов выполняются для плавучих сооружений с системами ДП, и должны обновляться в ходе эксплуатации. Типы отказов, которые анализируются в FMEA включают в себя:

Внезапную утрату основных элементов оборудования,

Внезапная или поочередная утрата нескольких компонентов оборудования с общим звеном,

Нестабильность управления и мониторинга, а также отказы, и методы обнаружения и изолирования, и

Отказы, которые могут быть скрыты пока не произойдут другие отказы.

Системы ДП должны проектироваться таким образом, чтобы, по мере возможности, отсутствовали общие одиночные отказы, которые могли бы привести к утрате позиции и/или курса. Кроме того, плавучим сооружениям с системами ДП должен быть присвоен класс оборудования в соответствии с п. 14.2.2.

14.2.2 Классы оборудования системы динамического позиционирования

Оборудование динамического позиционирования по резервируемости подразделяется на три класса, при этом Класс 1 имеет наименьшую резервируемость, а Класс 3 имеет наибольшую. В этом контексте слово “оборудование” относится ко всему оборудованию, описанному в п. 14.1.2, которое вместе с его положением/схемой расстановки на сооружении определяет степень резервируемости.

— Оборудование Класса 1 включает в себя оборудование, которое допускает потерю положения в случае единичного отказа.

— Оборудование Класса 2 включает в себя оборудование, которое не допускает потерю положения из-за единичного отказа активного компонента или системы (генераторы, подруливающие устройства, распределительные щиты, задвижки с дистанционным управлением, и т.п.), и в котором статические компоненты, такие как кабели, трубы и ручные задвижки, имеют адекватную защиту от случайного повреждения.

— Оборудование Класса 3 включает в себя оборудование, которое не допускает потерю положения в результате возникновения одного или нескольких событий, указанных ниже:

1) Одиночный отказ активного компонента оборудования Класса 2 или системы;

2) Отказ какого-либо статического компонента или системы, независимо от того защищен он, или нет от случайного повреждения;

3) Пожар или наводнение с повреждением всех компонентов в каком-либо водонепроницаемом отсеке, или каком-либо противопожарном отсеке.

Используя эти классификации и результаты, полученные от FMEA, можно разместить на сооружении условные обозначения класса оборудования. Размещение надписей о классах оборудования является обязанностью государственных органов того государства, чей флаг закреплен на плавучем сооружении.

14.3 Проектирование, испытания и техническое обслуживание

Система подруливающих устройств должна быть спроектирована таким образом, чтобы, насколько это возможно, в ней отсутствовали общие точечные отказы. Должна планироваться серия морских испытаний, чтобы верифицировать анализ FMEA системы подруливающих устройств и, насколько это возможно, для демонстрации эффектов различных режимов отказа. и тем самым обеспечить, что оборудование и процедуры способны безопасно реагировать на отказы.

После начальных морских испытаний должны быть проведены годовые исследования для обеспечения того, что система ДП поддерживается в хорошем работоспособном состоянии. Годовые испытания всех важных систем и компонентов должны выполняться, чтобы документально оформить способность плавучего сооружения с ДП сохранять положение и курс после возникновения одиночных отказов оборудования, которому присвоен и указан соответствующий класс.

Исследования, общие или частичные (сообразно обстоятельствам) должны выполняться всякий раз, когда обнаруживается и устраняется дефект, либо, когда происходит авария, которая отрицательно влияет на безопасность плавучего сооружения с ДП, либо, когда выполняется серьезный ремонт или модификация.

14.4 Персонал

Только сертифицированный и специально обученный персонал должен работать на плавучих сооружениях с системой динамического позиционирования.

14.5 Определение удерживающей способности

Анализ удерживающей способности должен выполняться для определения того, может ли система динамического позиционирования сохранять положение плавучего сооружения в пределах приемлемого дозорного отверстия на сооружении при предельном состоянии ULS и SLS, в зависимости от обстоятельств. Такой анализ выполняется для новых проектов, и для отдельных операций, см. А.13.5.

15 Система позиционирования с применением синтетических тросов

15.1 Общие требования

В этом пункте изложены требования к проектированию или оценке стационарных и подвижных систем позиционирования, в которых используются тросы из синтетических волокон. В пункте не рассматриваются другие варианты морского использования канатов из синтетических волокон, таких, как системы позиционирования танкеров у пристаней, выдающихся в море, и в гаванях; буксирных канатов, швартовых канатов у одноточечных причалов, а также страховочных фалов TLP и SALM. Кроме того, имеется очень мало данных по испытаниям в отношении больших канатов из синтетических волокон стационарно развернутых вокруг направляющих блоков, поскольку такие данные касаются лишь канатов, свободно висящих между оконечными точками. Канаты из синтетических волокон не должны стационарно размещаться вокруг направляющих блоков.

Все требования, указанные в Статьях **Ошибка! Источник ссылки не найден.** - 13, сообразно обстоятельствам, относятся к системам позиционирования, использующим канаты из синтетических волокон, если только не указано иное применительно к данному пункту.

На канатах с синтетическими волокнами должны использоваться колпачки для защиты от внешнего истирания, которое возникает в период эксплуатации, при монтаже и при извлечении. Необходимо избегать контакта с другими канатами, тросами, шлангокабелями и т.п., особенно при монтаже, так как это может привести к повреждению каната.

Тросы из волокон квалифицируются в соответствии с требованиями RCS, или другими соответствующими техническими условиями. Квалификационные процедуры должны рассматривать, по крайней мере:

- Прочность каната,
- Свойства натяжения/растяжения,
- Усталостную прочность;
- Защиту каната (покрытие и защита от проникновения частиц), и
- Кручение, если применимо

Технология позиционирования с использованием канатов из синтетических волокон стремительно развивается. Конструкторы должны предпринимать соответствующие меры, чтобы обеспечить использование соответствующих технологических преимуществ.

15.2 Анализ систем позиционирования с применением волоконных тросов

15.2.1 Анализ свойств натяжения-растяжения волоконных тросов

Свойства натяжения – растяжения тросов из волокон являются нелинейными и зависят от диаграммы натяжения линии. Свойства натяжения-растяжения якорных линий из волоконных канатов оказывают воздействие на отклик всей системы (плавучее сооружение и система позиционирования) посредством:

- Изменчивости по длине участков каната в течение расчетного срока службы,
- Изменчивости длины линии и соответствующего среднего натяжения в меняющейся окружающей обстановке, включая эффект продолжительности этих условий,
- Отклик низкочастотного движения на плавучее сооружение и
- Отклик линии на частоте волны.

При отсутствии более достоверной модели, верхняя граница (шторм) и нижняя граница (после установки) значений жесткости часто используются для прогнозирования усилий позиционирования и смещений структуры, соответственно. Тем не менее, необходимо соблюдать осторожность в определенных обстоятельствах (например, в случае сооружений с преобладанием VIM), для которых метод верхняя граница/нижняя граница не обязательно является консервативным.

15.2.2 Длина якорных линий из синтетических тросов

Система позиционирования проектируется для поддержания достаточного зазора от направляющего блока и дна моря. В конструкции необходимо учитывать протягивание при установке и дополнительной настройке, а также удлинение за счет ползучести в течение расчетного срока службы, чтобы верхний конец каната был на расстоянии от направляющего блока на сооружении, а минимальные требования по натяжению, указанные в п. 15.5.2, по-прежнему соблюдались.

Самая высокая точка установленного каната из волокон должна находиться на глубине, где он не может получить механическое повреждение от вспомогательных судов и морских работ на поверхности, проникновения солнечного света, коркообразования соли и вредного обрастания морскими организмами.

Для стационарных и подвижных систем позиционирования самая нижняя точка установленного каната из волокон должна находиться на глубине, где он не касается морского дна во всех неизменных расчетных условиях. Если канат имеет надежную систему защиты от попадания частиц (например, пригодная оболочка, как указано в ISO 18692), и можно обеспечить, что дно моря не имеет участков с твердым грунтом или других препятствий, то контакт каната с морским дном можно допустить при установке и контроле по избыточности.

Для подвижных систем позиционирования, канаты из волокон с надежной защитой от попадания частиц и оболочками, могут контактировать с морским дном в ходе работы в нормальных условиях, если они специально предназначены для такого использования. Конструктор системы позиционирования и конструктор каната должны решить, по крайней мере, следующие вопросы:

Изыскания на площадке, включая обнажения горных пород и свойства грунта, такие как абразивность и мягкость;

Повреждение оболочки и барьера для попадания частиц в ходе установки из-за абразивного эффекта твердого грунта;

Воздействие циклических движений на проникновение частиц почвы через барьер;

Остойчивость на дне для канатов, временно помещенных на дне до установки;

15.3 Усталостный анализ

15.3.1 Усталостная прочность «натяжение-натяжение»

Оценивается усталостное разрушение «натяжение – натяжение».

Усталостная стойкость канатов из полиэстера и сверхвысокомолекулярного полиэтилена может, как правило, считаться равной шестикратному сроку, который указан в Таблице 3 в отношении стального троса из спиральных нитей при $Q = 0,3$ [т.е. $K = 1\,000$ в Уравнении (12)], для диапазонов нагрузки не превышающих 50 % от MBS.

Для канатов из других волокон, таких как арамид и нейлон, данные по усталостным испытаниям недостаточны для построения расчетных кривых по усталости. Из-за отсутствия данных лучшего качества кривая спиральных нитей может использоваться для расчета на усталость этих канатов из волокон, см. Таблицу 3.

15.3.2 Усталость при осевом сжатии

Усталость при осевом сжатии не является проблемой для канатов из полиэстера и высокомолекулярного полиэтилена. Усталость при осевом сжатии может возникнуть с другими материалами, из которых изготавливаются канаты, когда канат испытывает избыточное число циклов при низких значениях натяжения каната. Чтобы не допустить воздействия осевого сжатия на какую-либо часть каната, постоянно должно поддерживаться минимальное натяжение линии в соответствии с п. 15.5.2.

15.4 Исследование сползания тросов

Удлинение за счет сползания тросов из сверхвысокомолекулярного полиэтилена должно прогнозироваться для наиболее критичных участков каната, т.е. участков, подвергающийся воздействию наивысшей температуры окружающей среды и наивысшего натяжения. Как правило, такой участок является самым верхним участком каната. Для канатов из полиэстера и арамида, как правило, исследование ползучести не требуется, если только такие канаты не подвергаются нестандартному воздействию.

Суммарное растяжение вследствие ползучести в течение расчетного срока службы оценивается, когда это необходимо (см. 15.2.2), для системы позиционирования в неповрежденном состоянии. Где это применимо, и особенно для подержанных компонентов системы позиционирования, растяжение за счет ползучести в ходе предшествующей эксплуатации должно учитываться.

15.5 Расчетные критерии

15.5.1 Максимальное натяжение якорной линии

Максимальное натяжение линий и расчетные коэффициенты надежности должны соответствовать п.11.2.

15.5.2 Минимальное натяжение якорной линии

15.5.2.1 Общие требования

Минимальное натяжение линии в процессе эксплуатации оценивается соответствующим образом.

Минимальное натяжение линии определяется на основе анализа подветренных якорных линий в ходе расчетных ситуаций. При необходимости количество циклов низкого натяжения линии может быть вычислено путем анализа долговременного распределения состояний моря.

Минимальные значения натяжения линий могут прогнозироваться методами вычислений в частотной или временной областях. Нелинейности также должны быть учтены соответствующим образом. Эффекты меняющихся во времени воздействий на плавучее сооружение должны быть включены, так как они влияют на величину минимального натяжения подветренных линий, а также на количество случаев минимального натяжения.

15.5.2.2 Полиэстер и СВМПЭ

Разрушение при сжатии не является проблемой для канатов из полиэстера и СВМПЭ. Тем не менее, целостность линий должна учитываться, если известно, что оттяжка не всегда будет натянута в процессе эксплуатации.

15.5.2.3 Арамид и другие материалы

Для канатов, изготовленных из арамида и других материалов с более высоким модулем упругости, минимальное натяжение линий должно постоянно поддерживаться на уровне 10 % от MBS (за исключением случаев, указанных в п. 15.5.2.4) если только в ходе испытаний не будет обосновано более низкое значение. Тем не менее, если такие канаты подвержены сильному перекручиванию, то даже эти минимальные значения натяжения могут быть недостаточными для обеспечения целостности канатов.

15.5.2.4 Минимальное среднее натяжение для предварительно развернутых линий

Минимальное среднее натяжение предварительно развернутых линий из арамида и других материалов с более высоким модулем упругости составляет 2 % от MBS. Однако, если такие канаты подвержены значительному перекручиванию, то даже эти минимальные средние уровни натяжения могут быть недостаточны для обеспечения целостности каната.

15.5.3 Усталость

Коэффициент запаса усталостной прочности, указанный в п. 11.5 также используется для канатов из синтетических волокон.

15.5.4 Растяжение за счет сползания троса

Требования, указанные ниже, не применяются в отношении канатов из полиэстера и арамида. Максимально допустимое растяжение за счет ползучести определяется как наименьшее от: Вытягивания, при котором прочность каната составляет 95 % от первоначальной MBS, или 10 % длины после установки и после полной отладки,

Прогнозируемое вытягивание из-за ползучести для большинства критичных участков каната на протяжении расчетного срока службы каната, должно быть меньше максимально допустимого вытягивания из-за ползучести.

15.6 Модельные испытания

Для систем позиционирования с синтетическими тросами модельные испытания должны учитывать нелинейное натяжение-растягивание линии. Если более точные данные или модели отсутствуют, то испытания должны, по крайней мере, моделировать нижнюю границу жесткости (после установки) и верхнюю границу (шторм) жесткости.

Приложение А (справочное)

Дополнительная информация и рекомендации

A.1 Область действия

A.1.1 Общие положения

Системы позиционирования для плавучих сооружений, используемых в нефтегазовой сфере, подразделяются на разные типы, в зависимости от характеристик сооружения и природных условий. Одноточечные системы позиционирования часто используются для плавучих сооружений судового типа, в то время, как системы позиционирования с оттяжками используются, в основном, для полупогружных или других типов сооружений, когда важно удерживать конкретную ориентацию. Третьим типом систем позиционирования является динамическое позиционирование. Динамическое позиционирование может использоваться либо с судовыми, или полупогружными сооружениями.

Система позиционирования с подруливающими устройствами может использоваться для уменьшения натяжения линий и/или контроля курса.

Для систем позиционирования, которые развернуты на акваториях с ледовым режимом, дополнительная информация по ледовому воздействию приведена в ISO 19906 [5].

A.1.2 Швартовка на растяжках (с цепными якорными линиями, натянутые линии и комбинированные системы (т.е. цепные линии в сочетании с натянутыми))

Рисунок А.1 представляет собой иллюстрацию стандартной системы позиционирования с цепным заякорением у полупогружной буровой установки. Если говорить о добычных (эксплуатационных) плавучих сооружениях, то швартовка на растяжках часто используется с полупогружными установками. Поскольку природное воздействие на полупогружные установки достаточно нечувствительно к направлению, то системы позиционирования на растяжках могут достаточно эффективно удерживать сооружение на месте. Такое же решение также может использоваться с судовыми сооружениями, которые более чувствительны к направленности природных воздействий, когда преобладающая погода на площадке приходит с одного направления, и сооружение может быть ориентировано с узко на погоду. Системы позиционирования на растяжках могут использовать цепи, стальные тросы, канаты из синтетических волокон, или комбинацию трех указанных элементов. Якоря с погружением в грунт или анкерные сваи, как правило, используются в качестве конечных устройств для якорных линий.

Альтернативные системы позиционирования на растяжках включают в себя натянутые линии и комбинированные системы позиционирования.

Основным преимуществом позиционирования на растяжках заключается в том, что она фиксирует ориентацию плавучего сооружения, таким образом, что бурение, заканчивание и операции в стволе скважины могут выполняться в подводных скважинах, расположенных непосредственно под сооружением. С другой стороны, система позиционирования на растяжках имеет достаточно большую протяженность (несколько раз превышает глубину моря в этом месте). Наличие якорей и линий необходимо учитывать при монтаже или техобслуживании трубопроводов, райзеров или любого другого подводного оборудования.

A.1.3 Одноточечные системы позиционирования

Одноточечные системы позиционирования используются, в основном, для судовых плавучих сооружений, таких как FPSO и FSO. Их основной характеристикой является то, что они позволяют сооружению маневрировать. Существует большое разнообразие конструкций одноточечных систем позиционирования, но они все, в основном, выполняют одну функцию. Одноточечные системы позиционирования сопрягаются с добычным райзером и плавучим сооружением. Краткий обзор стандартных одноточечных систем позиционирования приведен ниже.

f. Турельная швартовка

В этом типе системы позиционирования цепные заякоренные линии крепятся к турели, которая, как правило, является частью сооружения, которое необходимо пришвартовать. Турель включает в себя подшипники, которые позволяют сооружению вращаться (рыскать) независимо от системы позиционирования.

Турель может устанавливаться снаружи, и создавать носовую оконечность сооружения или корму с соответствующим усилением (Рисунок А.2) или внутри (Рисунок А.3). Роторный стол с цепным приводом может находиться над, или под ватерлинией. Поток от турели в технологические узлы идет по морским шлангам или гибким трубам, которые идут вверх со дна в нижнюю часть турели.

В некоторых случаях турель сконструирована таким образом, что более низкий роторный стол с цепным приводом может быть отсоединен, чтобы позволить плавучему сооружению (обычно самоходному) отплыть с точки в преддверии неблагоприятного природного события, например, тропического циклона или приближающегося айсберга. После отсоединения способный самостоятельно держаться на поверхности роторный стол с цепным приводом остается погруженным на заданной глубине, поддерживая линии и райзеры.

Вариантом такой компоновки является держащаяся на поверхности погруженная турель, сконструированная для легкого соединения/разъединения, чтобы временно пришвартовать специально модифицированные экспортные танкеры для прямой загрузки добываемой нефти. Такая компоновка также используется для стационарных плавучих сооружений (FPSO или FSO). В таком варианте конструкции турель имеет основной подшипник, который позволяет маневрировать танкеру или плавучему сооружению.

г. Причальный буй с многоякорным креплением к грунту (CALM)

Система CALM состоит из большого буя, который поддерживает несколько цепных линий, заякоренных на морском дне (Рисунок А.4). Такие системы, как правило, используются в качестве экспортных терминалов для прямой загрузки танкеров на месторождении, где ведется добыча. Система райзеров или выкидных линий, выходит на поверхность с морского дна, и крепится к нижней части буя CALM. Швартовый трос, как правило, это канат из синтетических волокон, соединяет танкер с буюм. Поскольку отклик буя CALM на природное воздействие сильно отличается от воздействия танкера, то эта система ограничена в своей способности противостоять природным воздействиям. Когда состояние моря достигает определенной величины, то необходимо отсоединить танкер.

Системы CALM также использовались для позиционирования FPSO и FSO. Чтобы преодолеть ограничения, указанные выше, жесткие конструкционные румпели с шарнирными соединениями используются в некоторых конструкциях для привязывания плавучего сооружения к верхней части буя. Пример показан на Рисунке А.5. Это жесткое шарнирное соединение виртуально устраняет горизонтальные движения между буюм и танкером. Используется ряд вариаций на основе этой базовой компоновки.

h. Точечный причал с одноякорным основанием (SALM)

Эта система иллюстрируется на Рисунке А.6, и в ней используется система райзеров с вертикальной цепью, которая предварительно натянута с помощью поверхностного буя. Подъемная сила, действующая в верхней части райзера, стремится восстановить райзер в вертикальном положении (эффект обратного маятника).

Танкер можно пришвартовать к верхней части буя SALM с помощью швартового троса. Основание райзера, обычно, крепится с помощью U-образного соединения к свайному или бетонному грузу, или стальной конструкции, размещенной на дне. В более глубоководных местах цепная система райзеров может быть заменена трубчатой конструкцией райзеров. Варианты такой конструкции были использованы для позиционирования плавучего сооружения (FPSO или FSO) с помощью жесткого колена.

А.1.4 Системы динамического позиционирования (ДП)

ДП представляет собой метод автоматического поддержания положения плавучего сооружения с конкретными допусками путем контроля бортовых подруливающих устройств, которые создают векторы тяги для противостояния ветру, волнам и течению. ДП особенно хорошо подходит плавучим сооружениям, которым необходимо часто прибывать и покидать место, как например системам проведения расширенных скважинных испытаний.

Система динамического позиционирования, которая описывается в этой части ISO 19901, осуществляет удержание без швартовых линий.

А.1.5 Швартовые системы с подруливающими устройствами

Многие плавучие сооружения, предназначенные для эксплуатации с швартовыми устройствами, оборудованы подруливающими устройствами и системами управления подруливающими устройствами. Подруливающие устройства могут использоваться для управления курсом сооружения, уменьшения усилий на швартовые устройства в результате сильных воздействий природного характера, или увеличения работоспособности плавучего сооружения.

А.1.6 Стационарные и подвижные системы позиционирования

А.1.6.1 Определение

Системы позиционирования, используемые для операций по добыче с длительным сроком службы, как правило, определяются в качестве стационарных. Системы позиционирования для плавучей системы добычи (FPS), например (обычно) являются стационарной швартовкой, так как срок службы FPS, как правило, превышает 10 лет. Мобильные системы позиционирования обычно разворачиваются в одном месте на довольно короткий срок. Примерами подвижных систем позиционирования являются системы позиционирования для мобильных установок, как например, MODU, а также для вспомогательных судов, пришвартованных рядом с другой платформой, таких как плавучий отель, буровое судно, баржи, а также суда обслуживания или строительные суда. Разделение между подвижными и стационарными системами позиционирования иногда не вполне ясно применительно к судам со сроком службы, равным нескольким годам. В этом случае собственник должен это определить с учетом риска подвергнуться воздействию суровых природных условий и последствий отказа системы позиционирования.

А.1.6.2 Швартовое оборудование

Подвижные системы позиционирования, как правило, включают оборудование, которое можно быстро развернуть и демонтировать. Это требование не распространяется на стационарные системы позиционирования. Многие компоненты системы позиционирования, такие как анкерные сваи, линейные лебедки, буи и цепные подъемники, которые часто непригодны для подвижных систем позиционирования, могут использоваться для стационарных систем позиционирования.

А.1.6.3 Монтаж

Развертывание подвижной системы позиционирования в нормальных условиях выполняется с помощью вспомогательных судов. Эта операция не является сложной и, обычно, не занимает больше нескольких дней. Развертывание стационарной системы позиционирования часто требует задействования более тяжелого установочного оборудования, такого как плавучий деррик-кран или специального вспомогательного судна. Часть швартового оборудования, обычно, устанавливается предварительно.

A.1.6.4 Инспектирование и техобслуживание

Подвижную систему позиционирования часто можно инспектировать визуально в ходе разворачивания или демонтажа. Демонтаж стационарной системы позиционирования с целью инспектирования может обойтись очень дорого, поэтому для инспектирования систем позиционирования используются водолазы или дистанционно управляемые аппараты (ROV). Замена неисправных компонентов подвижной системы позиционирования осуществляется намного проще.

A.1.7 Компоненты якорной линии

A.1.7.1 Общие положения

Якорные линии для плавучих сооружений, как правило, изготавливаются из стальных тросов, цепей, канатов из синтетических волокон или представляют комбинацию вышеуказанного. Многие возможные сочетания типов, размеров и местоположения линий, а также тип, местоположение и размер грузов или пружинных буйев могут применяться для достижения необходимых параметров позиционирования.

A.1.7.2 Стальной трос

Стальной трос, будучи намного легче, чем цепь, обеспечивает более высокую силу упругости для указанного предварительного натяжения. Важность этого аспекта увеличивается по мере того, как увеличивается глубина. Тем не менее, чтобы не допустить подъема якоря в системе стальных тросов требуется значительно большая длина тросов. Недостатком системы позиционирования, в которой используются стальные тросы, является износ тросов из-за длительного истирания при контакте с морским дном. По этой причине системы позиционирования со стальными канатами редко используются в качестве стационарных систем.

A.1.7.3 Цепь

Цепь доказала свою долговечность в морских операциях. Она более стойкая к донному истиранию и добавляет удерживающей способности якорю. Однако, на глубоководных участках цепная система позиционирования ухудшает параметр полезной нагрузки плавучего сооружения из-за ее веса и требований к предварительному натяжению.

A.1.7.4 Канат из синтетических волокон

Канат из синтетических волокон типа полиэстера или СВМПЭ, или арамида, все чаще используются в системах позиционирования на глубоководных участках из-за их значительно меньшего веса при погружении и большей эластичности по сравнению со стальными тросами. Канаты из синтетических волокон обладают очень высокой усталостной прочностью по сравнению со стальными тросами (см. A.14).

A.1.7.5 Комбинирование цепей/канатов

В этих системах цепь, как правило, подсоединяется к якорю. Это обеспечивает хорошую стойкость к истиранию там, где якорная оттяжка контактирует с морским дном, и ее вес добавляет удерживающей способности якорю. Выбор цепи или стального троса на конце сооружения, а также типа оконечника, зависит от требований к регулировке натяжения линий в ходе эксплуатации. При правильном выборе длины стального троса и цепи, комбинирование позволяет получить преимущество в уменьшенном предварительном натяжении с более высокой силой упругости, улучшенной удерживающей способности якоря и хорошей стойкости к истиранию о морское дно. Эти преимущества делают комбинированные системы привлекательными для позиционирования на глубоководье.

A.1.7.6 Грузы для стабилизации линий

Грузы для стабилизации линий иногда включаются в состав якорных линий для оптимизации рабочих характеристик. Закрепив концентрированный груз к якорной оттяжке в точке, близко расположенной к морскому дну, грузы для стабилизации линий могут использоваться для замены участков цепей и увеличения силы упругости якорных линий. Использование грузов для стабилизации линий предусматривает учет потенциально отрицательных эффектов, таких как увеличенное использование соединительных приспособлений, сложность монтажа, нежелательный динамический отклик и увеличенный риск заглужения в морское дно.

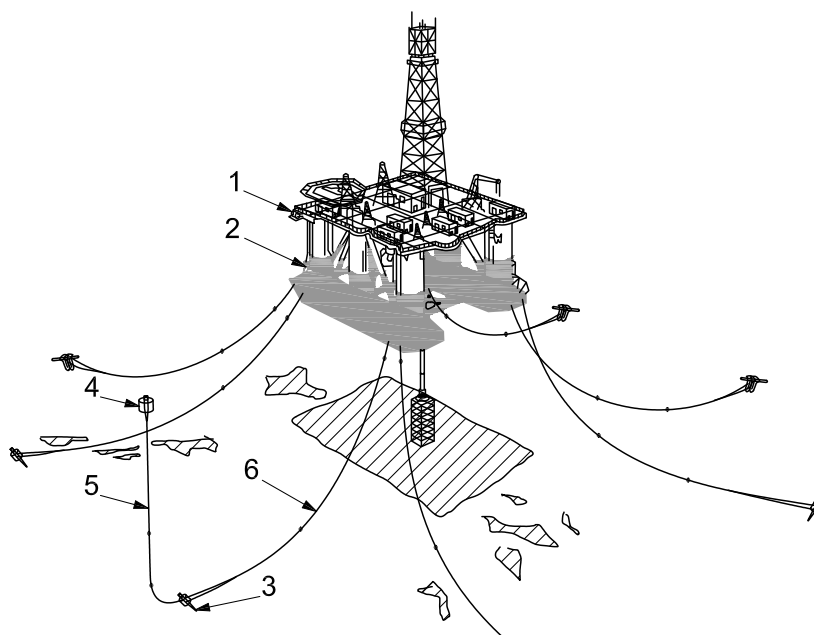
A.1.7.7 Пружинный буй

Пружинные буи бывают поверхностными или подводными, которые соединены с якорной оттяжкой. Пружинные буи имеют следующие преимущества

- Уменьшенный вес якорных линий, поддерживаемых плавучим сооружением, или корпусом MODU — особенно полезен для полупогружных установок, пришвартованных на глубоководье,
- Уменьшенный эффект динамики линий на глубоководье, и
- Уменьшенное смещение плавучего сооружения для указанного размера линий и предварительного натяжения.

Недостатками пружинных буйев являются:

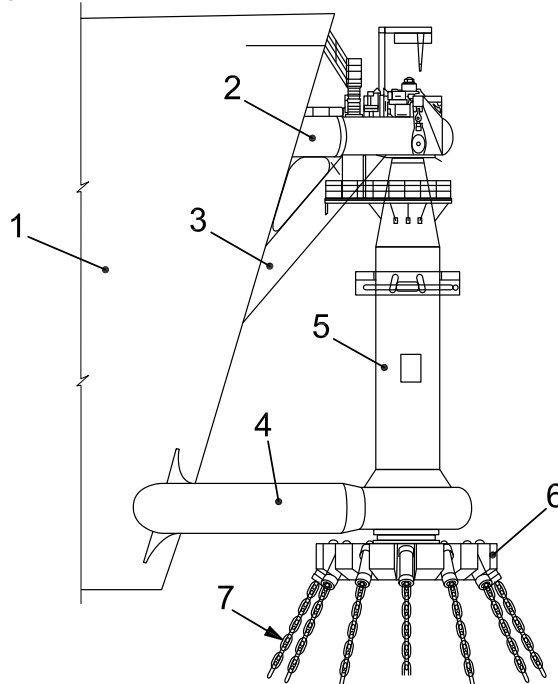
- Повышенный расход соединительных устройств, и сложность монтажа, а также
- Потенциально увеличенное природное воздействие на линии из-за динамического отклика буйев в беспокойных морях



Обозначения

- 1 лебедка или брашпиль
- 2 направляющий блок
- 3 якорь
- 4 подвесной буй
- 5 подвесной трос
- 6 якорная оттяжка

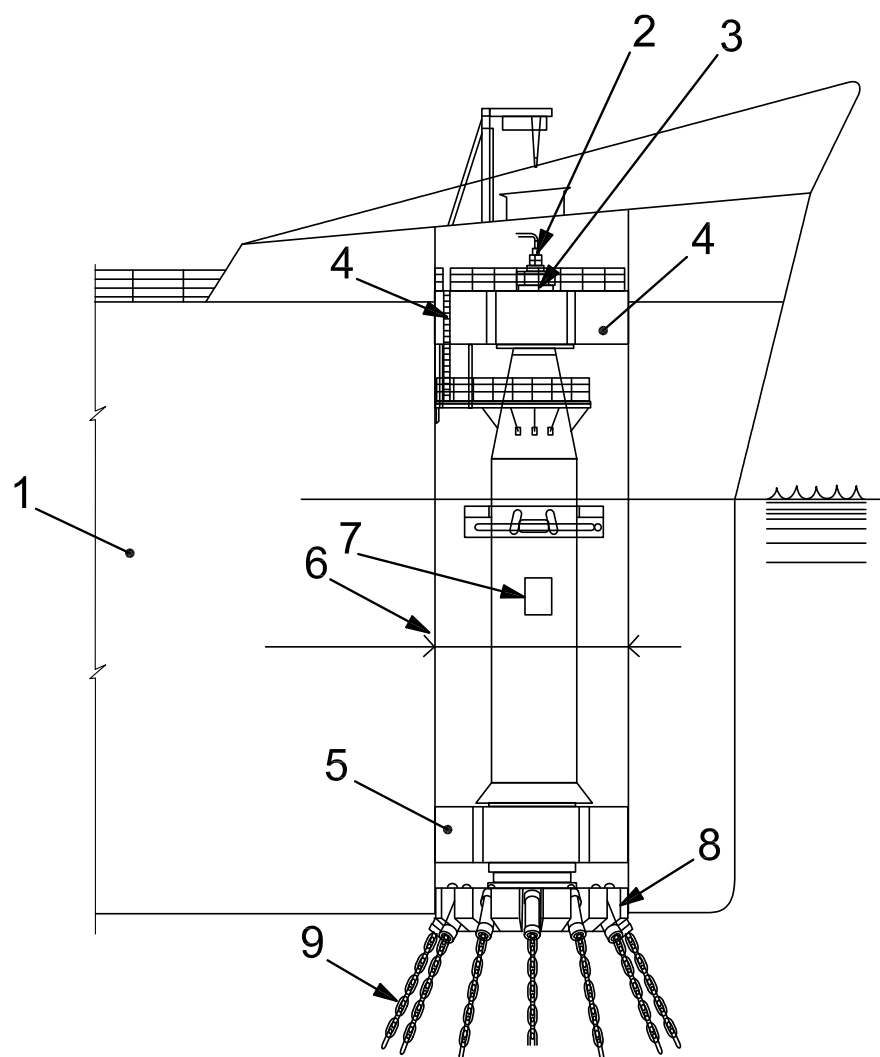
Рисунок 1 — Система позиционирования с оттяжками



Обозначения

- 1 плавучее нефтехранилище (ПНХ)
- 2 верхняя соединительная конструкция
- 3 диагональная стяжка
- 4 нижняя соединительная конструкция
- 5 вертикальный вал турели
- 6 стол с цепным приводом
- 7 швартовная цепь (стандартная)

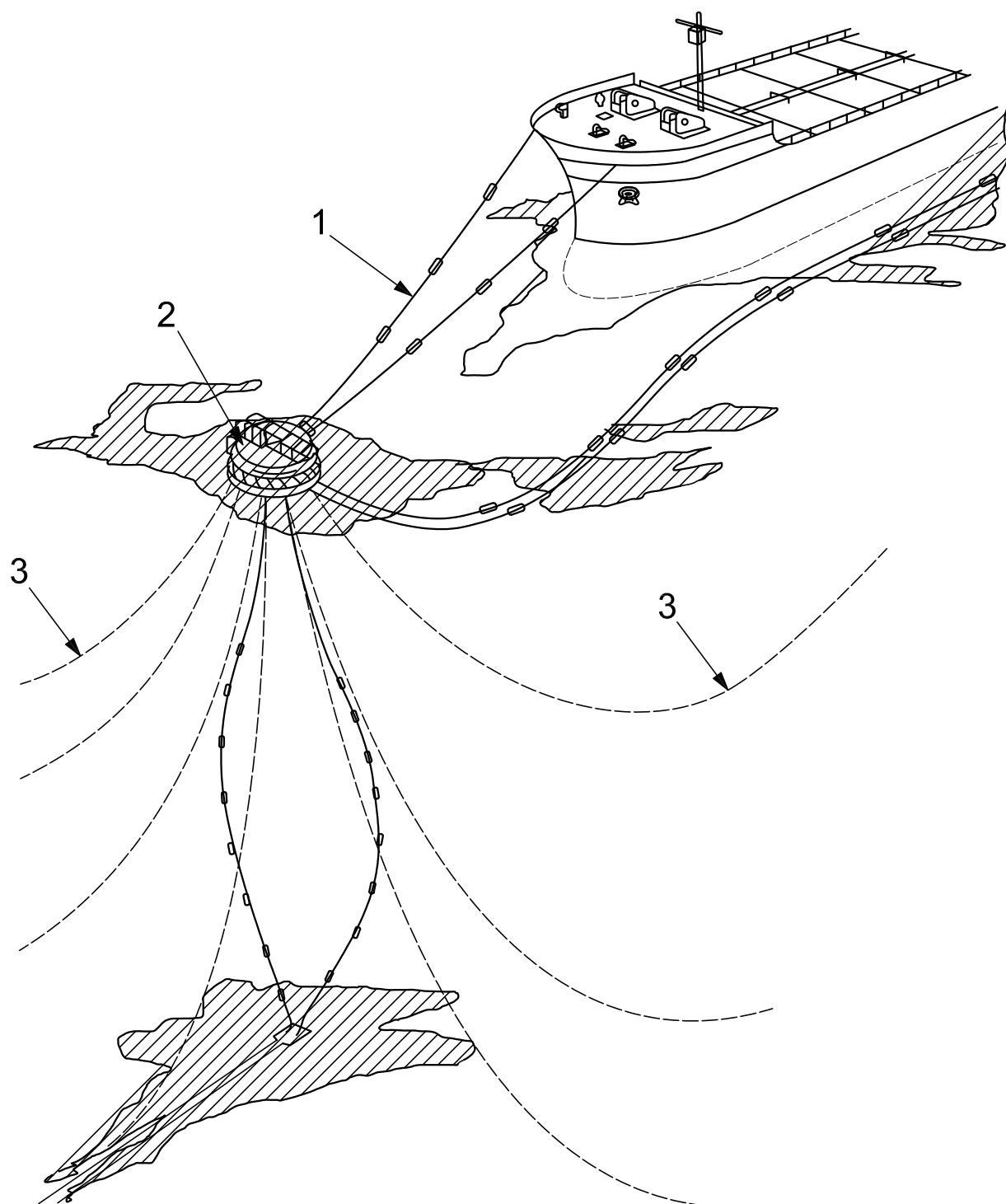
Рисунок 2 — Система позиционирования с наружной турелью



Обозначения

- 1 плавучее нефтехранилище (ПНХ)
- 2 рядный вертлюг
- 3 тороидальный вертлюг
- 4 верхняя соединительная конструкция
- 5 нижняя соединительная конструкция
- 6 стенки шахты турели
- 7 вертикальный вал турели
- 8 стол с цепным приводом
- 9 швартовая цепь (стандартная)

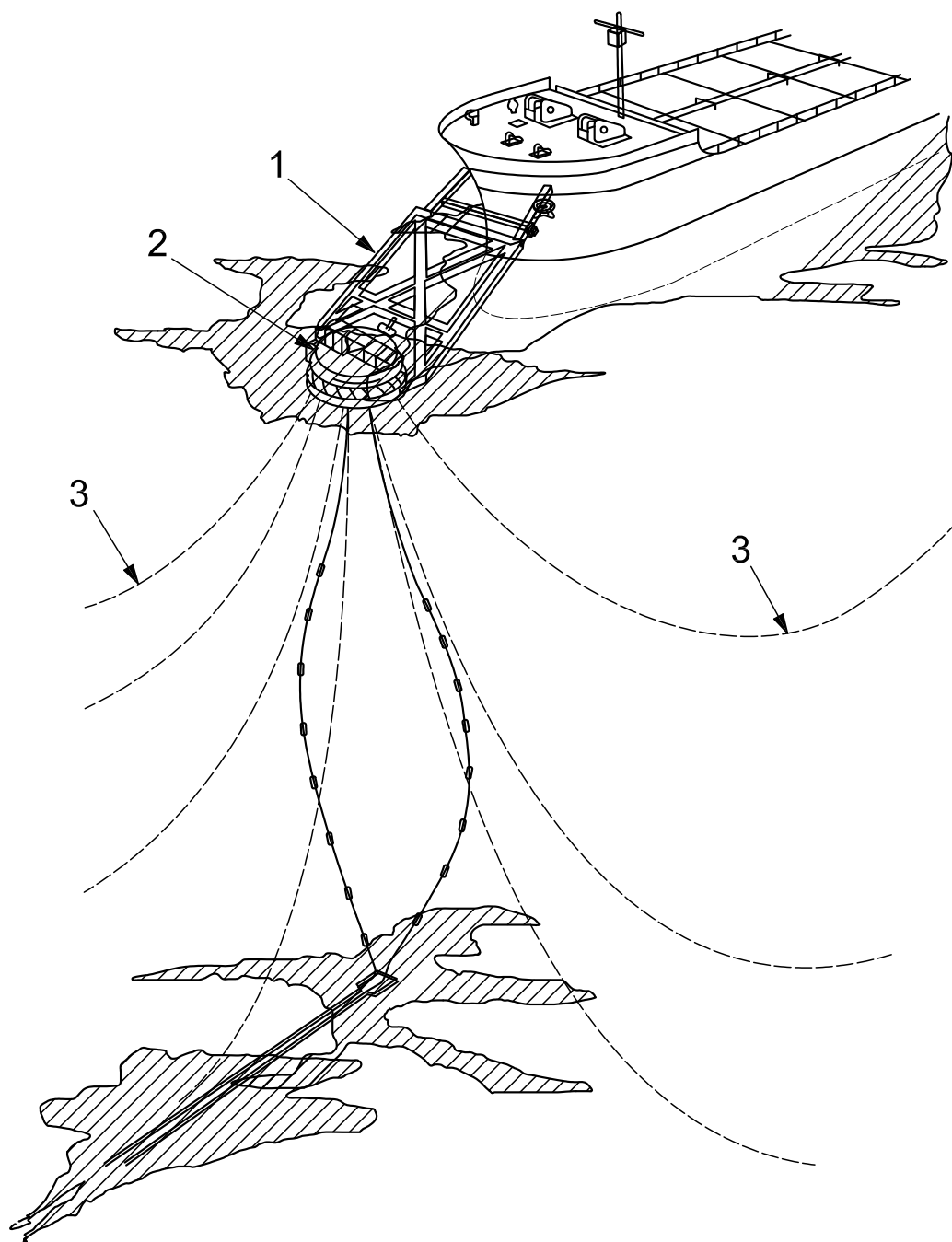
Рисунок 3 — Система позиционирования с внутренней турелью



Обозначения

- 1 трос
- 2 буй
- 3 якорная оттяжка

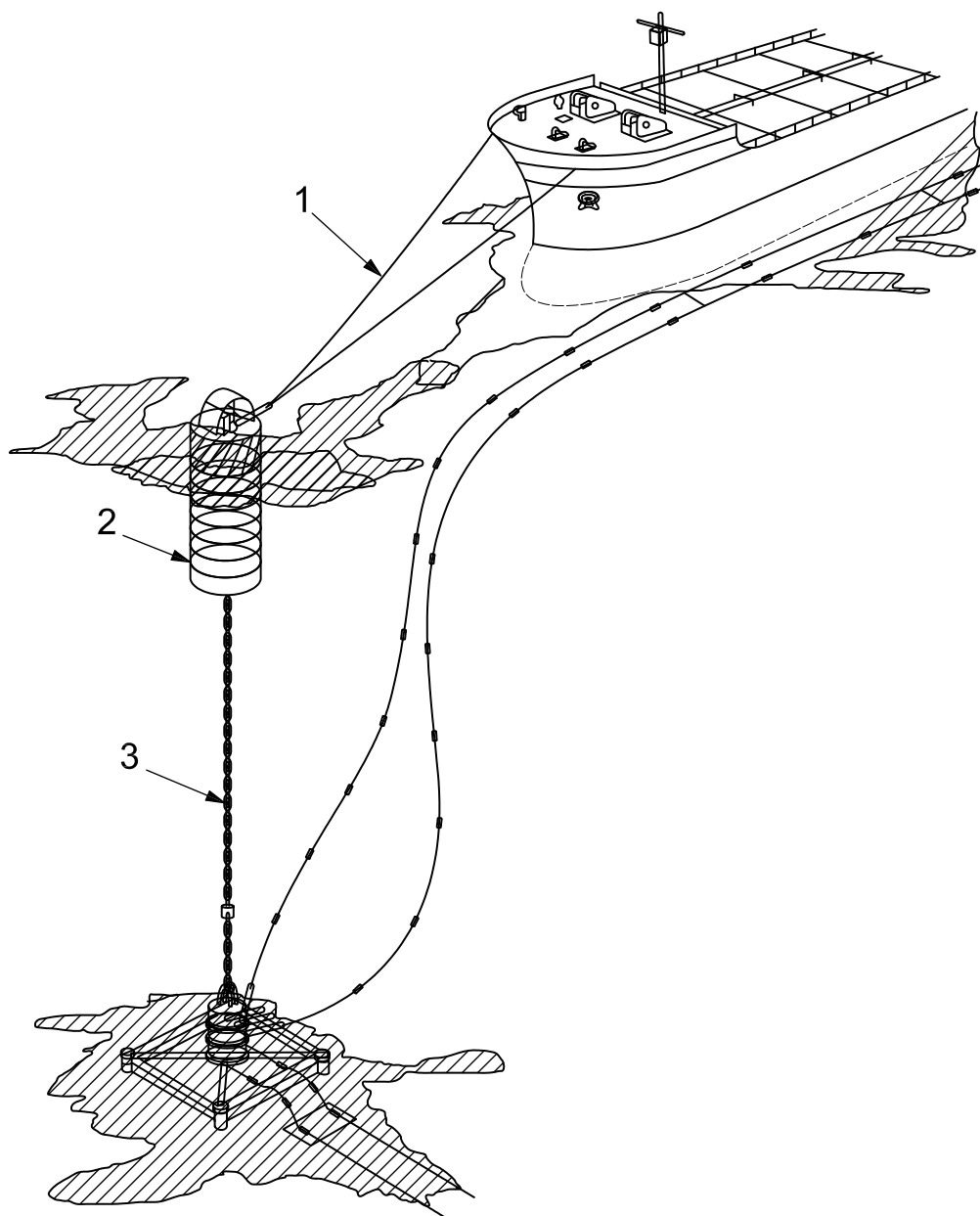
Рисунок 4 — Причальный буй с многоякорным креплением к грунту (CALM) с тросами



Обозначения

- 1 траверса
- 2 буй
- 3 якорная оттяжка

Рисунок 5 — Причальный буй с многоякорным креплением к грунту (CALM) с фиксированным поперечным румпелем



Обозначения

- 1 трос
- 2 буй
- 3 цепной райзер

Рисунок 6 — Точечный причал с одноякорным основанием (SALM) с вертикальной цепной райзерной системой, предварительно натянутой крыльевым бумом

A.2 Нормативные ссылки

Указания отсутствуют.

A.3 Термины и определения

Указания отсутствуют.

A.4 Обозначения и сокращения

Указания отсутствуют.

A.5 Общие факторы

A.5.1 Функциональные требования

A.5.1.1 Факторы, учитываемые по райзерам

Райзеры переносят флюиды между морским дном и плавучей добычной системой или MODU, и представляют собой одно из основных конструктивных ограничений для системы позиционирования. Система райзеров часто накладывает ограничения на допустимое смещение. В случае чрезмерного смещения сооружения, регулировочные приспособления якорных линий, такие как ослабление подветренных линий, иногда выполняется чтобы не допустить повреждение системы райзеров. Таким же важным аспектом является

зацепление линий и райзеров в ходе эксплуатации и экстремальных погодных условий. Система позиционирования райзерная система должны конструироваться так, чтобы быть приспособленными друг к другу и необходимо координировать эти два вида работ.

A.5.1.2 Факторы, учитываемые по подводному оборудованию

Подводное оборудование, такое как донные опорные плиты, основания райзеров, сателлитные скважины и выкидные линии, должны располагаться на расстоянии, и не цепляться за какие-нибудь якорные линии. Любой контакт между якорными оттяжками и подводным оборудованием в ходе монтажа, эксплуатации или техобслуживания, несет в себе высокую опасность повреждения оборудования и якорных линий. Если происходит зацепление, или возникает потенциальная возможность зацепления, которую невозможно избежать, то иногда можно изменить компоновку и конструкцию системы позиционирования за счет использования асимметричной компоновки якорных линий, или использования грузов для стабилизации линий или пружинных буйев. Координация конструкции системы позиционирования с компоновкой подводного оборудования является необходимой.

A.5.2 Требования промышленной безопасности

A.5.2.1 Общие положения

Нормативно-правовые акты могут представлять собой международные нормативные документы, требования, установленные государством флага, или собственником. Кроме того, прибрежное государство и/или портовая администрация могут иметь свои нормативные акты относительно морских операций. Собственник выполняет требования всех применимых правил в зависимости от местоположения плавучего сооружения и типа проводимых операций.

A.5.2.2 Опасности, связанные с системой позиционирования

В этом подпункте указан ряд опасностей, относящихся к потенциальным отказам систем позиционирования. Важность этих опасностей должна осознаваться конструкторами системы позиционирования и собственниками, которые должны свести к минимуму вероятность их возникновения и уменьшить последствия.

i. Неисправность механизма быстрого отсоединения якорных линий

В случаях, когда оборудуется система быстрого разъединения, опасность возникает, если система не срабатывает при включении, либо срабатывает, когда этого не требуется. Должны быть внедрены жесткие процедуры, обеспечивающие надлежащее срабатывание. Необходимо проводить плановое техобслуживание и испытание таких систем, при условии, что в этом случае не подвергается опасности целостность системы позиционирования.

j. Отказ конструкций, поддерживающих якорное оборудование, направляющие блоки и лебедки

Опасности для сооружения могут быть обусловлены неудачной конструкцией и плохим качеством строительства, а также эксплуатационными потребностями, которые приводят к отказу оборудования в результате внешнего воздействия, вибрации, коррозии и износа. В исключительных случаях может быть нарушена водонепроницаемость. Таким образом, неукоснительный график планового техобслуживания, как части системы управления прочностью конструкции (SIM), должен включать регулярное освидетельствование всех фундаментов компонентов якорных линий и внутренних опорных конструкций. Техобслуживание также должно включать надлежащую эксплуатацию всех движущихся частей и защиту от коррозии.

k. Дефекты изготовления и процессы

Стальные тросы и цепи, канаты из синтетических волокон, общие звенья, соединительные элементы, прокатное оборудование, шкентели и т.п., подвержены дефектам изготовления. Такое оборудование должно приниматься на основе процедур контроля качества, испытаний и утверждения, и должно соответствовать промышленным стандартам при строительстве.

l. Механические, электрические и гидравлические отказы, относящиеся к системам позиционирования

Опасности от указанных вспомогательных систем могут привести к отказу управления, контрольных точек или датчиков, откликов на воздействия и потере ручной коррекции. Механические отказы могут возникнуть в тормозе брашпиля, муфтах и соединительных муфтах, стопорах, передаточных механизмах, шлицевых соединениях, треснутых дисках или барабанах, при охлаждении, в ударниках, устройствах намотки и натягивания проволоки, и т.п. Гидравлические отказы могут возникать в трубопроводной обвязке, уплотнениях, стыках, насосах, тормозных кранах, системах смазки, загрязнении масла, утечках и уровне жидкостей, или клапанах системы аварийного выпуска. Электрические отказы, как правило, влияют на управление и мониторинг положения, натяжения и сети питания. Процедуры регулярного осмотра и планового техобслуживания должны быть разработаны для сведения к минимуму вероятности отказа этих систем.

m. Перегрузка, усталость и недостаточная удерживающая способность якоря системы позиционирования

Перегрузка определяется, как любое натяжение, превышающее заранее определенное предельное значение или предельную нагрузку на якорь. Любое из указанных событий может привести к потере положения. Опасности включают неадекватное использование поступательного движения, исключительные природные условия, ненадлежащее проникновение якоря в грунт, чрезмерное натяжение, отказ оборудования, и неправильные операции монтажа/демонтажа. Чрезмерный износ может возникнуть в цепи в точке касания, когда цепь часто переходит из состояния свободного провисания в натянутое положение в такой степени, что звенья цепи падают одно на другое. Письменные процедуры по эксплуатации для управления натяжением якорных линий должны быть четко определены и доступны для эксплуатационного персонала. Это включает в себя использование подруливающих устройств, если они имеются, и перераспределение натяжения линий, чтобы не

допустить превышения конструктивных ограничений какого-либо компонента.

Отказ удерживания якоря иногда возникает из-за перегрузки грунтового основания, ненадлежащего оборудования или конструкции якоря применительно к почвенным условиям (например, угол поворота лапы якоря), отказа оборудования (включая смычки) или ненадлежащей длины линий для экстремальных условий. Последствиями этих событий, скорее всего, будет не держание якоря.

В некоторых районах мира при получении неблагоприятных прогнозов погоды ослабляют натяжение всех якорных линий и эвакуируют персонал. В других районах персонал остается на борту и предпринимает меры по защите установки. Для выбранного сценария должны быть разработаны четкие эксплуатационные процедуры.

Адекватность системы позиционирования в восприятии циклического воздействия (усталость), как правило, исследуется и подтверждается путем проведения анализа системы позиционирования. Практические меры могут использоваться для изменения положения секций якорных линий, подверженных концентрированному усталостному возбуждению, например, на направляющих блоках или в точках касания.

Все компоненты должны поддерживаться на удовлетворительном уровне, который достигается за счет использования системы SIM с четкими критериями по отбраковке и замене основных компонентов.

п. Ухудшение свойств компонентов системы позиционирования в процессе эксплуатации

Целостность якорных линий, как правило, ухудшается из-за коррозии, износа и повреждений. Коррозия представляет собой основную проблему, особенно в зоне смачивания, для цепных и проволоочных систем. Если существует вероятность сильной коррозии между компонентами системы позиционирования, то уровень водородного может быть достаточным, чтобы вызвать хрупкое разрушение в любых имеющихся материалах с высокой прочностью.

Абразивное истирание или износ в стальных тросах, как правило, возникает в районе лебедки, в направляющем блоке и точках касания. Нормальные операции обеспечат сдвиг контактных участков. Истирание цепи будет сосредоточено в зонах контакта звеньев, а также в точках непредвиденных контактов с плавучим сооружением.

Повреждение в ходе развертывания и демонтажа возможно, если только не соблюдается осторожность. Например, стальные тросы особенно подвержены смятию на участках лебедок из-за наматывания с сильным натяжением. Спиральная структура стального троса может вызвать нарастание крутящего момента, если его волочить по дну моря и это приведет к образованию калышки или завитка, если только натяжение ослабнет. Кроме того, неправильное использование резьбовых гребенок в ходе извлечения стального троса может вызвать повреждение троса и соединительных приспособлений.

Необходимо иметь программу регулярных осмотров для мониторинга целостности якорных линий.

о. Неадекватные эксплуатационные процедуры, а также процедуры техобслуживания и обращения

Эксплуатационные процедуры разрабатываются с целью минимизации риска отказа системы позиционирования. Эксплуатационные процедуры должны адекватно описывать процедуры обращения в ходе развертывания и демонтажа, а также критерии освидетельствования/списания или требования к техобслуживанию. Стационарные якорные линии скорее всего будут страдать от повреждения в результате погрузочно-разгрузочных операций, поскольку они остаются на месте более длительное время. Погрузочно-разгрузочные процедуры охватывают процедуры в нормальных условиях, направленные на минимизацию эксплуатационного износа, задилов, истирания, повреждения резьбовой гребенкой, спуска, наматывания проволоки на барабаны или укладки цепи в ящик для цепей.

Состояние всех якорных линий будет ухудшаться по мере эксплуатации, и адекватное освидетельствование и техобслуживание будут необходимы для обеспечения их постоянной целостности.

р. Ошибка оператора

Опасности, возникающие, как следствие ошибок операторов, включают неспособность реализовать все пункты этого подраздела и, все положения эксплуатационных процедур. Ошибки операторов могут быть сведены к минимуму в случае надлежащего обучения ответственного персонала. Это включает в себя посещение соответствующих курсов обучения, предоставление четких процедурных указаний и руководств по эксплуатации, установление цепочки команд, а также тренировки и инструктаж перед работой.

A.5.3 Требования к планированию

Указания отсутствуют.

A.5.4 Требования к инспектированию и техобслуживанию

Указания отсутствуют.

A.5.5 Аналитические инструменты

Указания отсутствуют.

A.6 Требования к проектированию

A.6.1 Уровни воздействия

Концепция уровней воздействия была первоначально предложена для стационарных стальных сооружений в ISO 19902 [4]. Уровни воздействия для плавучих сооружений полностью определены в ISO 19904-1.

A.6.2 Предельные состояния

A.6.2.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.6.2.2 Предельные состояния для систем позиционирования

A.6.2.2.1 Предельные состояния по прочности

Эти предельные состояния соответствуют противодействию систем позиционирования наиболее вероятным максимальным воздействиям, таких, как те, которые возникают на основе расчетных природных

событий.

A.6.2.2.2 Предельные состояния эксплуатационной надежности

Эти предельные состояния относятся к критериям, определяющим нормальное функциональное применение плавучего сооружения. Конструкция удержания должна отвечать требованиям эксплуатационной надежности плавучего сооружения, райзеров, бурового оборудования, добычных объектов и т.д., как это определено собственником.

В качестве примера предельное состояние SLS по критерию эксплуатационной пригодности достигается, когда эффекты воздействия на плавучее сооружение таковы, что предполагаемые операции на плавучем сооружении (такие как бурение, добыча, поддержание соединения по мостикам, и т.д.) не могут более проводиться.

Альтернативным образом, если собственник не указывает требований к эксплуатационной надежности, то конструктор должен установить ограничительные условия эксплуатации. Это должно стать частью руководства по эксплуатации, и должно быть доведено до сведения людей, ответственных за бурение, работы в скважинах или добычу, чтобы можно было своевременно приостановить операции.

A.6.2.2.3 Предельные состояния усталости

Предельные состояния усталости для систем позиционирования относятся к суммарным повреждениям в компонентах системы из-за природных циклических воздействий.

A.6.2.2.4 Случайные предельные состояния

Указания отсутствуют.

A.6.3 Определение расчетных ситуаций

Указания отсутствуют.

A.6.4 Расчетные ситуации

A.6.4.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.6.4.2 Расчетные ситуации для предельного состояния ULS

A.6.4.2.1 Общие положения

Когда выполняется анализ рисков, то он должен включать исторический опыт, расчетный срок службы и предусмотренное применение системы позиционирования, оценку безопасности эксплуатационного персонала, предотвращение ущерба окружающей среде, вероятность повреждения или утраты системы позиционирования при воздействии природных условий, которые определены с помощью параметров с различной повторяемостью, а также финансовые потери из-за отказа системы позиционирования.

Калибровка факторов безопасности ULS обсуждается в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.6.4.2.2 Стационарные системы позиционирования

Стационарные системы позиционирования должны проектироваться для сочетания условий ветра, волн, и течения, которые, скорее всего, вызовут экстремальные значения эффектов воздействия. На практике это часто аппроксимируется путем использования множественного выбора расчетных ситуаций. Например, в случае повторяемости в 100 лет, часто исследуются три типа расчетных ситуаций:

- Волны с повторяемостью в 100 лет с сопутствующим ветром и течением;
- Ветер с повторяемостью в 100 лет с сопутствующими волнами и течением;
- Течение с повторяемостью в 100 лет с сопутствующими волнами и ветром.

Направляющая комбинация ветра, волн и течения, которая вызывает наиболее сильные эффекты, должна использоваться для верификации рассматриваемой конструкции стационарной установки, которая будет согласовываться с природными условиями на площадке.

Выбор расчетных ситуаций требует тщательного анализа. Например, в крупных сооружениях судового типа преобладают низкочастотные движения. Поскольку низкочастотные движения, как правило, увеличиваются с уменьшением периодов волн, то волны с повторяемостью в 100 лет не обязательно оказывают наиболее сильные эффекты воздействия на якорные линии. Меньшие волны с большей частотой, с более короткими периодами повторяемости могут вызвать более сильные низкочастотные движения и, таким образом, оказать более сильное воздействие на систему позиционирования.

Вероятность менее значительного повреждения системы позиционирования, плавучего сооружения и имеющих отношение систем может быть приемлемой в качестве последствия аварийного отсоединения, по усмотрению собственника. Тем не менее, аварийное отсоединение не должно сильно увеличивать риск для персонала, окружающей среды, или других сооружений поблизости от плавучего сооружения, или его системы позиционирования.

A.6.4.2.3 Подвижные системы позиционирования

A.6.4.2.3.1 Подвижные системы позиционирования для сооружений, которые не находятся в непосредственной близости от других сооружений

Минимальная повторяемость в некоторых юрисдикциях составляет пятьдесят лет.

A.6.4.2.3.2 Подвижные системы позиционирования для сооружений, которые находятся в непосредственной близости от других сооружений

Примером операций в непосредственной близости от других сооружений является установка MODU с якорными оттяжками, развернутыми через трубопровод. Повреждение трубопровода может возникнуть, если якоря цепляются за трубопровод. Другие примеры включают буровые суда, а также суда для входа в скважины, мелководные баржи, и вспомогательные суда, пришвартованные рядом с сооружением.

A.6.4.2.3.3 Обеспечение резервирования подвижных систем позиционирования

Указания отсутствуют.

A.6.4.3 Расчетные ситуации для предельного состояния SLS

Как правило, расчетные ситуации для SLS менее суровые, чем ситуации для ULS. Тем не менее, в некоторых операциях плавучей добычной платформы FPS, где система позиционирования должна позволять плавучему сооружению продолжать добычу в сильный шторм, расчетные ситуации для SLS могут быть аналогичны ситуациям для ULS.

A.6.4.4 Расчетные ситуации для предельного состояния FLS

Калибровка факторов безопасности FLS обсуждается в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

A.6.4.5 Расчетные ситуации для предельного состояния ALS

Калибровка факторов безопасности ALS обсуждается в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

A.7 Воздействия

A.7.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.7.2 Требования к данным, характерных для данной площадки

A.7.2.1 Сбор и анализ данных

Дополнительные указания по сбору и анализу данных см. в ISO 19901-1, и имеющих отношение правилам RCS, например в ссылке [28].

Например, операции в зонах тропических циклонов, таких как Мексиканский залив и Южно-Китайское море, характеризуются в целом мягкими природными условиями с однозначно суровыми штормами в течение сезона циклонов (ураганы в Мексиканском заливе, тайфуны в Южно-Китайском море). В этих географических зонах для операций, проводимых не в сезон циклонов, определение природных условий расчетной ситуации может быть сделано на основе анализа имеющихся климатических данных, исключив тропические циклоны.

Минимальная скорость ветра при тропическом циклоне указана, чтобы избежать неправильной интерпретации разбросанных статистических данных, см. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

A.7.2.2 Глубина моря

Указания отсутствуют.

A.7.2.3 Условия грунта и морского дна

A.7.2.3.1 Общие положения

Общие геотехнические требования к морским сооружениям приведены в ISO 19901-4 [3].

A.7.2.3.2 Стационарные системы позиционирования

A.7.2.3.2.1 Общие положения

Площадное распределение фундамента для плавучего сооружения значительно превышает фундамент для стационарных сооружений и TLP. Требования к исследованиям площадки должны, прежде всего, быть обусловлены типом платформы, которая будет устанавливаться, наличием и качеством данных, полученных в ходе предыдущих изысканий, а также последствиями частичного или полного отказа фундамента.

Рекомендуется провести высококачественное геофизическое исследование высокого разрешения по всей площади распределения фундамента. Результаты изысканий необходимо реалистично интерпретировать с геологической точки зрения, а полученные результаты интегрировать в существующие геотехнические данные (если имеются) для оценки ограничений, налагаемых на конструкцию геологическими особенностями. Такое комплексное исследование может впоследствии служить руководством при разработке объема работ в вертикальном и горизонтальном направлении заключительного геотехнического исследования (т.е. количество, глубина, и местоположение шахт прободоотбора почвы и/или испытаний по месту, таких как пьезометрическое конусное зондирование PCPT, т.е. статическое зондирование грунта с использованием измерительных преобразователей порового давления), и помочь интерпретировать полученные геотехнические данные. Предыдущие исследования площадки, а также имеющийся опыт, могут снизить объем текущих исследований площадки. Некоторые примеры таких комплексных геологических и геофизических исследований приведены в ссылках [90] и [91].

A.7.2.3.2.2 Отбор проб почвы и лабораторные испытания

Если конструктор сочтет нужным положиться на прободоотбор грунта и лабораторные испытания, вместо испытаний по месту, то конструктор должен знать, что измеренные свойства образцов грунта, извлеченных из глубоководных участков могут отличаться от значений по месту. Без специальных мер предосторожности, контур гидростатического порового давления и результирующее воздействие на какие-либо растворенные газы может существенно изменить свойства грунта по сравнению с теми, которые будут проявляться в условиях по месту. Из-за этих эффектов предпочтительными являются испытания по месту, либо специальные лабораторные испытания по определению свойств грунта. Некоторые существующие геотехнические инструменты при использовании методик роторного бурения в глубоководных исследованиях приведены в ссылке [92]. Отбор керн с помощью "буровой каретки" или "длинномерных" устройств для отбора керна также показаны для обеспечения прочности на срез, эквивалентных тем, которые получены в результате роторного бурения, и имеют перспективы в качестве альтернативы методу отбора керна (см. ссылки [93] и [94]).

A.7.2.3.2.3 Испытания по месту

Испытания по месту могут обеспечить более надежную оценку параметров грунта и сгладить вопросы, касающиеся нарушений образцов. Были использованы следующие стандартные инструменты: устройство для

измерения прочности грунта на сдвиг в массиве с дистанционным управлением (или донные либо внутрискважинные устройства), пьезозонд (для получения оценок порового давления и проницаемости по месту), а также РСРТ. Преимущества метода РСРТ включают получение непрерывного профиля сопротивления грунта, который позволяет выполнить подробную стратиграфическую оценку. Однако, результаты СРТ необходимо откалибровать по результатам других испытаний по месту (например, устройство измерения прочности грунта на сдвиг) и лабораторные испытания, по наличию, чтобы количественно определить сопротивление грунта. Комплексное обсуждение интерпретации данных РСРТ можно найти в ссылке [95]. Другие перспективные инструменты включают Т-образный пенетrometer [96].

А.7.2.3.2.4 Рекомендуемая последовательность для характеристики площадки

Программа исследований площадки должна выполняться для каждой площадки, где располагается морская платформа. Программа должна (как минимум) и, желательно, в перечисленном порядке, состоять из следующих частей:

d) Фоновое геофизическое исследование

Региональные геологические данные сначала должны быть получены, чтобы обеспечить информацию регионального характера, которая может повлиять на анализ, конструкцию и размещение фундамента. Такие данные должны использоваться при планировании изысканий высокого разрешения и геотехнических исследований площадки, а также обеспечить согласование выводов подземных исследований с известными геологическими условиями. Специфичные для площадки фоновые данные должны включать повторную экспертизу трехмерных, многоканальных данных, полученных для геологической разведки а также анализ факторов геологического риска, используемого для размещения разведочных скважин. Трехмерные данные могут быть обработаны повторно для усиления их высокочастотного контента. Предлагаемые источники с более подробной информацией по теме приведены в ссылке [97].

е) Исследование морского дна и твердого дна

Специфичная для конкретной площадки геофизическая информация высокого разрешения должна быть получена в отношении условий, существующих на и вблизи поверхности морского дна. Исследование должно включать картирование и описание всех черт морского дна и твердого дна, которые могут отрицательно повлиять на систему фундамента. Такие параметры включают в себя: контуры морского дна, крутизну склона на морском дне, стратиграфию мелководья, положение рельефа дна, которые могут влиять на подмыв, валунный грунт, подводные препятствия и небольшие кратеры, выделение флюида, воронки выхода флюида, небольшие разломы, оползневые блоки, буровой шлам, предыдущее использование морского дна, и газогидраты.

Для исследования необходимо использовать геофизическое оборудование и методики, которые соответствуют интересующей глубине моря, а также обеспечивают получение изображений моря высокого разрешения, а также подробную стратиграфическую информацию на приемлемую глубину исследования ниже зоны влияния сооружения. Стратиграфические данные, полученные таким образом должны быть интегрированы с геотехническими данными, собранными впоследствии (см. следующий пункт), чтобы позволить интерполировать почвенные данные и/или экстраполирование в случае, если местоположения якорей сдвинулись после проведения геофизических и геотехнических исследований.

ф) Геотехнические исследования

Интервалы пробоотбора и испытаний по месту должны обеспечивать, чтобы каждый важный стратиграфический слой надлежащим образом был охарактеризован. Расчетные параметры грунта для различных слоев должны быть определены на основе полевой программы, которая испытывает грунт в настолько неповрежденном состоянии, насколько это возможно. Поскольку можно ожидать, что качество образцов грунта будет ухудшаться с увеличением глубины, то использование методов натурных испытаний рекомендуется для глубоководных площадок. Кроме того, образцы грунта могут потребоваться для исследования перспективных инженерных свойств грунта.

Содержание и объем глубоководных исследований грунта должен быть всегда привязан к специфичным условиям проекта. При планировании исследования грунта необходимо учитывать следующие общие рекомендации.

— Если отсутствует предшествующий опыт по площадке, то минимальный объем должен состоять из одного ствола с чередующимся пробоотбором и внутрискважинным РСРТ в двух кустах якорей.

— Если эти стволы демонстрируют значительную вертикальную и/или боковую изменчивость в пределах схемы позиционирования, то нужно увеличить количество стволов.

— Лабораторные исследования должны представлять стандартные классификационные испытания и определение недренированного статического напряжения на сдвиг образцов глины. Кроме того; в отношении анкерных свай, якорей, врезавшихся в грунт и якорных плит, то консолидированные, с постоянным объемом испытания по методу простого сдвига (DSS) и/или неконсолидированные недренированные (UU) трехосевые испытания являются предпочтительными. Для кессонных якорей рекомендуется проводить консолидированные недренированные компрессионные и растягивающие трехосевые испытания.

— Несколько тиксотропных испытаний для формирования базиса для оценки расстановки в зависимости от времени после установки якоря.

— Корреляция величины удельного сопротивления грунта под конусом зонда РСРТ со значениями недренированного статического напряжения сдвига DSS и/или UU трехосевых испытаний, а также использование выведенного коэффициента несущей способности для разработки непрерывных недренированных профилей статического напряжения сдвига в интервалах глубин, охваченных РСРТ.

— Несколько тиксотропных испытаний по определению степени переуплотнения (OCR) слоев глины, как правило, улучшает основу для вывода характерного недренированного профиля статического напряжения сдвига для местоположения.

— Если выявлены глубокие отложения глины, то рекомендуется проводить дистанционные испытания с помощью устройства измерения прочности грунта на сдвиг в массиве в сочетании с указанным выше объемом, памятуя, что прочность грунта на сдвиг следует корректировать на эффект скорости деформации прежде, чем использовать в проекте [147].

Тем не менее, если высококачественные геотехнические данные уже имеются для района расстановки якорей, и небольшое изменение свойств грунта подразумевается в пределах площади фундамента, либо, если обширный опыт применительно к выбранной концепции фундамента на участке может быть использован, то вышеуказанные рекомендации можно изменить соответствующим образом (см. ссылки [98] и [99]).

Минимальное вертикальное простираие исследования площадки должно относиться к расчетной зоне влияния поведения основания фундамента, и должно превышать прогнозируемое расчетное проникновение, по крайней мере, на диаметр якоря или ширину лапы якоря, B (см. Рисунок А.26). Если учитывается обратный концевой подшипник (REB) на кончике кессонного якоря в анализе вертикальной способности, то характеристика грунта до трех диаметров для вакуумных свай или трехкратной ширины для якорных плит ниже расчетной глубины проникновения будет более уместной. Важно обеспечить, чтобы отсутствовали высокопроницаемые слои в зоне, на которую влияет приведение в движение REB, особенно, если якорь будет противостоять продолжительному действующим силам, таким, которые формируются кольцевыми течениями.

Если исследование грунта в основном выполняется с помощью РСРТ, то рекомендуется, чтобы, по крайней мере, одна шахта и/или длинный керн были отобраны, чтобы надлежащим образом калибровать результаты РСРТ. Этот ствол/кern должен быть отобран на одном из мест проведения РСРТ.

При исследовании площадки также стоит учитывать, что в ходе рабочего проектирования платформы и системы позиционирования место якорей на дне может измениться из-за изменившейся длины якорных линий и/или курса, расположения платформы, характеристик платформы, и параметров якорной линии.

Некоторые примеры объема работ в рамках глубоководных исследований приведены в ссылках [98] и [100], а кроме того примеры интерпретации данных приведены в ссылках [101] и [102].

г) Программа испытаний грунта

Основная цель реализации программы лабораторных испытаний заключается в надлежащей оценке всех входных параметров, которые необходимы для геотехнического и структурного проектирования, для всех важных слоев. Когда это применимо, то испытания должны выполняться в соответствии с признанными стандартами (т.е. ASTM или другими).

Дополнительные испытания выполняются для определения естественного сползания и циклического поведения грунта с целью получения возможности прогнозирования взаимодействия структуры грунта из-за долговременного и циклического нагружения. Необходимо учитывать параметры проницаемости, тиксотропии и испытания на уплотнение грунта, чтобы понять эффекты размещения для приводимых в движение свайных конструкций и учета объема для вакуумных свай и кессонных якорей.

В чисто глиняных почвах программа натурных исследований, а также программа лабораторных испытаний должна обеспечивать получение следующей информации, которая необходима для определения надежной конструкции свайных и плитовидных якорей, в зависимости от типа и размера якоря, а также нагрузки якоря.

— Общая классификация грунта, классификация и испытания индексным методом.

— Изменение напряжений в почве по времени и OCR, сжимаемость грунта (т.е. модуль разгрузки и перегрузки), как это измерено в ходе испытаний с постоянной степенью напряжения (CRS) или испытаний с постоянной нагрузкой.

— Проницаемость грунта.

— Статическое напряжение сдвига перемятого грунта и чувствительность почвы.

— Монотонное и циклическое статическое напряжение сдвига в условиях соответствующего среднего и циклического напряжения для трехосевого сжатия, набухания, а также траектории напряжений DSS; образцы предпочтительней иметь анизотропически уплотненными и желательно, чтобы были выполнены циклические испытания в ожидаемый период воздействия в дополнение к периоду нормального цикла в 10 секунд.

— Данные при ползучести, чтобы определить возможную потерю статического напряжения сдвига в условиях продолжительного воздействия (в случаях, когда имеется сильное продолжительное воздействие, например кольцевые течения, т.к. это важно). Циклические напряжения должны накладываться на продолжительное воздействие, если это имеет отношение к реальным расчетным ситуациям.

— Характеристики уплотненного перемятого грунта (сжимаемость и проницаемость).

— Прочностные характеристики переуплотненного перемятого грунта.

— Тиксотропность грунта.

— Параметры, необходимые для формирования кривых p - u (т.е. 50 % коэффициент деформации, ε_{50})

Базы данных для циклических свойств грунта имеются в ссылках [100] и [103] для глин Мексиканского залива. Такие базы данных должны использоваться для интерпретации результатов испытаний и уменьшения количества циклических испытаний, специфичных для площадки.

h) Дополнительные исследования

Если необходимо, то проводятся испытания, дополнительные аналитические исследования, или масштабированные испытания для оценки следующих аспектов:

- Потенциал промывки;
- Исследования или анализ отклика грунта на землетрясение;
- Неустойчивость морского дна на участке, где ожидается разместить фундаменты;
- Эффекты расположения.

A.7.2.3.3 Подвижные системы позиционирования

Якоря для установок MODU часто конструируются при отсутствии почвенных данных по конкретной площадке. Хотя такой подход часто можно обосновать, но соответствующие целевые, специфичные для конкретной площадки, почвенные исследования, как правило, являются предпочтительными там, где характеристики морского дна отличаются от общепринятых, либо требуется проведение подробной аналитической оценки якоря. См. рекомендации в A.7.2.3.1.4 для планирования почвенного исследования.

A.7.2.4 Статистические данные по волнам

Из-за хаотического характера подъема поверхности моря, постоянно регистрируемые данные подъема водной поверхности (состояний моря), обычно, описываются в терминах статистических параметров, таких как значимая высота волн, спектральный пиковый период или средний период видимых волн, форма спектра и направленность. Другие интересующие параметры можно вывести на основе этих параметров.

Периоды волнений могут серьезно отрицательно влиять на силу дрейфа волн и движение плавучего сооружения, поэтому необходимо исследовать диапазон периодов волнения. Например, когда выполняется анализ позиционирования с повторяемостью волн в 100 лет, то рекомендуется проверять набор комбинаций со значительной высотой волн и спектральным пиковым периодом, выбранным из периода в 100 лет со значительной высотой волны – контурной линией спектрального пикового периода для этой зоны.

A.7.2.5 Статистические данные по ветру

По ветровым нагрузкам см. ссылку **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.7.2.6 Профиль течения

Наиболее распространенными категориями течений являются:

- Приливные течения (связанные с астрономическими приливами),
- Круговые течения (связанные с океанскими круговыми схемами, например кольцевые и вихревые течения),
- Течения, вызываемые штормом, и
- Течение солитонов.

Для указанного состояния моря общая скорость течения представляет собой вектор суммы скоростей течения, применимого к площадке. В определенных географических зонах, воздействие течения может определять конструкцию. Поэтому выбор соответствующих профилей скоростей течения требует тщательного анализа. Для получения дополнительной информации по воздействию течения см. ссылки [28] и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.7.2.7 Атмосферное обледенение

Указания отсутствуют.

A.7.2.8 Обрастание морскими организмами

Указания отсутствуют.

A.7.3 Природное воздействие на якорные линии

A.7.3.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.7.3.2 Воздействие течения

Указания отсутствуют.

A.7.3.3 Вибрации якорных линий, индуцированные завихрением,

Поток жидкости, протекающий через узкий элемент, может вызывать нестабильную структуру потока из-за образования завихрения. При определенных критических скоростях потока, частота образования завихрения может совпадать с кратной частотой или субгармоникой естественной частоты вибрации элемента конструкции и вызывать гармонические, или субгармонические возбуждения, перпендикулярные продольной оси элемента конструкции, или параллельные потоку, или перпендикулярные потоку. Для якорных линий поперечные вибрации/возбуждения могут представлять проблему, поскольку они имеют тенденцию увеличивать воздействия, вызываемые волочением.

Для оценки эффекта движений, вызываемых завихрением, на цилиндрические элементы конструкции с большим удлинением, как правило используется четыре метода:

- Упрощенная оценка движений, вызываемых завихрением, и усталости;
- Модальный анализ спектра реакций на основе эмпирических моделей (и испытаний);
- Метод вычислений динамики жидкости, решающий уравнения Навье-Стокса ;
- Лабораторные испытания.

Метод нужно выбирать в соответствии с конкретным исследуемым случаем. Могут использоваться признанные полуэмпирические методы, если характеристики проблемы находятся в рамках диапазона применимости на основе предыдущего имеющего отношение опыта.

A.7.4 Косвенное воздействие

A.7.4.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.7.4.2 Частотные диапазоны

Указания отсутствуют.

А.7.4.3 Воздействие волн

Движение сооружения с частотой волн является важной составляющей воздействия на систему позиционирования, особенно в условиях мелководья.

Взаимодействие между океанскими волнами и плавучим сооружением вызывает движение сооружения, которые для удобства можно подразделить на три категории:

- Движения первого порядка, известные, как высокочастотные, или движения с частотой волн;
- Движения второго порядка, известные, как низкочастотные движения;
- Установившееся смещение, известное, как средний волновой дрейф.

Движения на частоте волны могут быть получены на основе данных испытаний с использованием модели регулярных волн, или модели случайных волн, или компьютерного анализа с использованием либо временной, или частотной области, см. 19904-1.

Движения с частотой волн имеют шесть степеней свободы: продольный снос, боковой снос, вертикальная качка, бортовая качка, дифферент при килевой качке и рысканье. В нормальных условиях они считаются независимыми от жесткости системы позиционирования, за исключением плавучих систем с естественными периодами менее 30 с.

Однако, в некоторых случаях жесткость системы позиционирования/или райзеров, и т.д., может существенно влиять на движения с частотой волны. Одним из примеров может служить глубоководный буй типа CALM, где на движения буя с частотой волны влияет жесткость, инерция и сопротивление якорных линий, а также соответствующие свойства среднеглубинных линий отгрузки нефти. В таких случаях, точные движения буя CALM могут быть получены только на основе анализа всей связанной системы буй/система позиционирования/система отгрузки. Кроме того, усталостный анализ якорных линий и линий отгрузки должен учитывать это связанное поведение.

Низкочастотные движения вызываются низкочастотным компонентом воздействия волн второго порядка, которые, в целом, довольно незначительные по сравнению с воздействием первого порядка. Из-за этого низкочастотное воздействие не играет существенной роли в движениях в вертикальной плоскости (т.е. бортовой качке, дифференте и вертикальной качке), когда присутствует сильное гидростатическое восстанавливающее воздействие. Однако, в горизонтальной плоскости (т.е. продольный снос, боковой снос и рысканье), где присутствует только восстанавливающее воздействие, они обусловлены воздействием системы позиционирования системы динамического позиционирования, а также добычных райзеров. Движения, обусловленные низкочастотным воздействием могут быть существенными. Это особенно верно при частотах близких к собственной частоте колебаний пришвартованного сооружения. Поэтому, в целом, только низкочастотный продольный снос, боковой снос, и рысканье включены в анализ системы позиционирования.

Низкочастотные движения пришвартованного сооружения происходят в узкой полосе по частоте, так как над ними доминирует резонансный отклик на собственной частоте колебаний пришвартованного сооружения. Амплитуда движений сильно зависит от жесткости системы позиционирования. Амплитуда движения также сильно зависит от демпфирования системы, поэтому надлежащая оценка демпфирования является критичной при вычислении низкочастотных движений. Имеется существенная неопределенность в оценке, особенно демпфирования.

Движения плавучих сооружений, вызываемые волнами, обсуждаются в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

А.7.4.4 Воздействие ветра

Скорость ветра увеличивается с увеличением высоты над водой. Если скорость ветра указывается на эталонной высоте, иной, чем 10 м, то она должна быть скорректирована до 10 м, используя профиль, приведенный в ISO 19901-1.

Воздействие ветра может восприниматься, как постоянное, или как комбинация постоянного компонента и меняющегося во времени компонента. Меняющийся во времени компонент также известен в качестве низкочастотного воздействия ветра. Аналогично низкочастотному воздействию волн второго порядка, низкочастотное воздействие ветра также вызывает резонансный продольный снос, боковой снос и рысканье. Низкочастотное воздействие ветра в нормальных условиях вычисляется на основе эмпирического спектра энергии ветра, такой как представлен в ISO 19901-1. Низкочастотное воздействие ветра и волн в нормальных условиях комбинируется для получения низкочастотных структурных движений вследствие обоих эффектов.

Дополнительную информацию по воздействию ветра см. в ISO 19904-1.

А.7.4.5 Воздействие, вызываемое течением

Движения, вызываемые течением, на плавучие сооружения обсуждаются в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

В отношении воздействий, вызываемых течением, на плавучие сооружения подверженные VIM см. А.7.4.7.

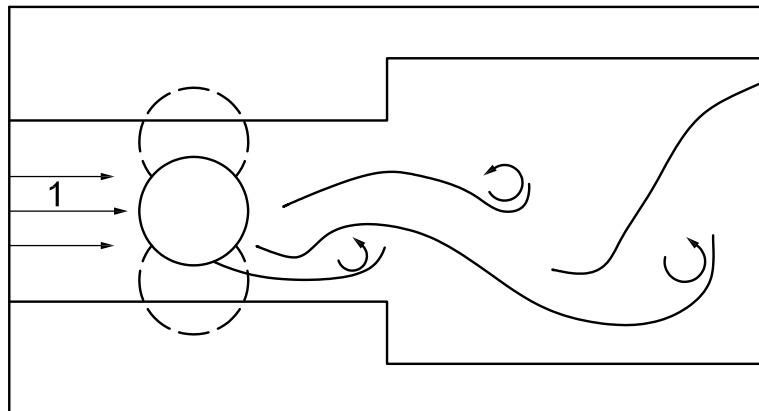
А.7.4.6 Направленное распределение

В оценке эффектов воздействий на системы позиционирования, необходимо учитывать характеристики направленности различных природных явлений. Если природное явление появляется с того же направления, и пришвартованное сооружение подстраивается под это направление, то результирующие эффекты воздействия на систему позиционирования обычно минимизируются. Тем не менее, когда волны действуют под большими углами к ветрам или течениям и пришвартованное сооружение не выставлено по преобладающим природным воздействиям, то результирующие эффекты воздействия, как правило, выше.

А.7.4.7 Движения плавучих сооружений, индуцированные завихрением,

А.7.4.7.1 Основы VIM

Цилиндрические сооружения, испытывающие воздействие течения, создают чередующиеся завихрения на регулярной основе. На Рисунке А.7 показано, как эти завихрения появляются ниже по потоку в кильватерной струе цилиндра.



Обозначения

1 поток

Рисунок 7 — Завихрения ниже по потоку в кильватерной струе после цилиндра

Частота образования завихрений, f_s , относится к безразмерному числу Струхала, S , посредством:

$$f_s = \frac{SV_c}{d} \quad (\text{A.1})$$

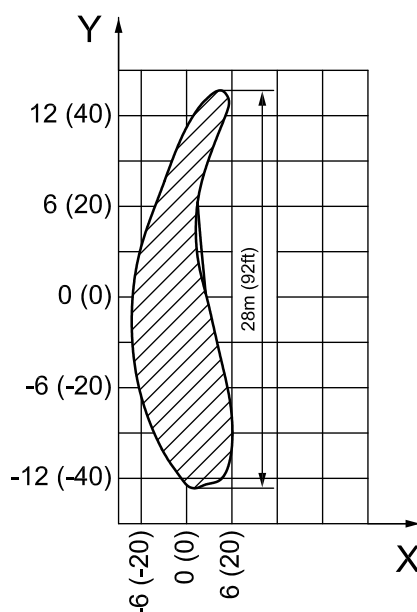
Где:

V_c - скорость течения, в м/с;

d - диаметр цилиндра, в м.

Завихрения создают знакопеременную подъемную силу и силу сопротивления на цилиндр. Когда одна из собственных частот цилиндра падает близко к частоте образования завихрений, то могут возникнуть колебания цилиндра. Эта вибрация VIV хорошо известна применительно к райзерам и натяжным элементам опор платформы.

VIV, тем не менее, не ограничено длинными цилиндрами. Плавучие сооружения, изготовленные из цилиндрических компонентов, такие как платформы «spar», TLP и полупогружные платформы, испытывают колебания, вызванные завихрениями, когда их частоты продольного сноса/бокового сноса или бортовой качки/дифферента при килевой качке близки к частоте образования завихрений. На Рисунке А.8 показан пример конверта движений платформы, испытывающей воздействие течения со скоростью чуть более 1,0 м/с. Период движений в поперечном направлении в этом случае составляет примерно 180 с, и это близко к собственному периоду колебаний бокового сноса платформы «spar». Также присутствует меньшее движение в направлении вдоль линий, которое характеризуется периодом, составляющим примерно половину поперечного направления.



Обозначение

X направление вдоль линий

Y поперечное направление

Единицы в м (фут)

Рисунок 8 — Конверт движения платформы «spar», испытывающей воздействие VIM

Возникновение захвата относится к безразмерной уменьшенной скорости:

$$V_r = \frac{V_c T}{d} \quad (\text{A.2})$$

Где:

T - собственный период, в с;

V_c - скорость течения, в м/с.

Определение V_r может варьироваться (см. А.7.4.7.2.1). Если T является естественным периодом в тихой воде (течение отсутствует), то захватывание может, как правило, возникать для значений $4 < V_r < 10$ для поперечного VIM. Точный диапазон захватываний зависит от параметров, таких как конструктивный профиль, устройства, уменьшающие завихрение, принадлежности, профиль течения, отношение масс, и демпфирование.

Для полупогружных устройств и TLP, наличие кратных волн от морского дна приводит к более сложному полю скоростей течения, которая, обычно, также вызывает возбуждение рыскания в дополнение к поперечному и линейному отклику, наблюдаемому для плавучего сооружения с одной колонной, такому как «spar». Кроме того, естественные периоды для продольного и бокового сноса платформ «spar» а также полупогружных платформ являются сопоставимыми, и, как правило, диаметр колонн полупогружных платформ составляет, примерно, половину от диаметра прочной цистерны платформы «spar». Этот фактор имеет два основных последствия:

а) Полное захватывание возникает при более низких скоростях течения для полупогружных платформ по сравнению со «spar»; и это приводит к тому, что VIM становится проблемой для системы позиционирования усталости райзера вместо прочности системы позиционирования для полупогружных платформ по сравнению со «spar»;

б) При более высоких скоростях течения полупогружные платформы, как правило, находятся в режиме после захватывания, т.е., $V_r > 10$. Это вызывает негармонический отклик со случайными амплитудами и более широкими диапазонами частот, в то время, как направленные вдоль линий, а также поперечные отклики имеют сопоставимые величины.

А.7.4.7.2 Параметры проектирования VIM

А.7.4.7.2.1 Уменьшенная скорость

Для движений с шестью степенями свободы многокомпонентных корпусов (полупогружные платформы, TLP) определение уменьшенной скорости (V_r) является сложным. В целом, определение V_r включает собственные периоды системы в условиях средней нагрузки (которая зависит от системы позиционирования гидростатической жесткости, и полную массу 6-на-6, а также добавленные матрицы массы), характеристические размеры корпуса (который может варьироваться в условиях рассматриваемого характеристического вектора), а также характеристическая скорость набегающего потока.

Предлагаемое ниже обсуждение относится к VIM классического направления платформы, которое является поперечным по отношению к направлению течения. В этом случае поперечное VIM возникает, когда период образования завихрений близок к естественному периоду плавучего сооружения, когда оно расположено поперечно по отношению к направлению течения. Для классической платформы «spar» отношение между

откликом VIM и естественным или наблюдаемым периодом поперечного движения часто дается в терминах уменьшенных скоростей $V_{r,n}$ или $V_{r,obs}$:

$$V_{r,n} = \frac{V_c T_n}{d} \text{ and } V_{r,obs} = \frac{V_c T_{obs}}{d} \quad (A.3)$$

Где:

V_c - характеристическая скорость течения, как правило, наивысшая скорость профиля течения;

T_n - естественный период стоячей воды плавучего сооружения в поперечном направлении по отношению к течению в условиях средней нагрузки;

T_{obs} - наблюдаемый период VIM;

d - диаметр spar.

Следует помнить, что $V_{r,obs}$ определяется только в диапазоне скоростей течения, которые вызывают VIM, при том, что $V_{r,n}$ определяется для всех скоростей течения. Данные модельных испытаний показывают, что VIM является функцией $V_{r,n}$ или $V_{r,obs}$ и VIM является незначительным, когда $V_{r,n}$ ниже порогового значения. Диапазон $V_{r,n}$ или $V_{r,obs}$ где может быть вызван значительный VIM, часто называется диапазон захватывания.

$V_{r,n}$ является функцией T_n , которая является функцией жесткости системы позиционирования массы сооружения. Жесткость системы позиционирования при различных смещениях может существенно отличаться, особенно для сгруппированных схем позиционирования. Масса сооружения включает добавленную массу, которая, как правило, определяется аналитическими инструментами или модельными испытаниями. Если имеются данные полевых измерений, то они должны использоваться для калибровки добавленной массы. Поперечная жесткость, используемая для вычислений $V_{r,n}$, как правило, оценивается при среднем смещении в условиях течения и сопутствующего ветра и волн. Поскольку среднее смещение зависит от силы сопротивления, которая зависит от амплитуды VIM, то процесс выбора соответствующего смещения для вычисления VIM является итеративным. Следует помнить, что наблюдаемый период модельных испытаний или полевых измерений T_{obs} может отличаться от вычисленного естественного периода для стоячей воды, T_n , который используется в большинстве анализов, поскольку он более доступный. Калибровка вычисленных значений по имеющимся данным модельных испытаний или полевых измерений является желательной при наличии данных.

Поскольку $V_{r,n}$ является функцией скорости течения и естественного периода плавучего сооружения, VIM может существовать в условиях сравнительно умеренных течений (например, 0,5 - 1,0 м/с) если естественный период судна продолжительный, то это может быть характерно для глубоководных плавучих сооружений, имеющих малую жесткость системы позиционирования относительно их общей массы.

A.7.4.7.2.2 Поперечное (поперечный поток) VIM

Поперечное VIM возникает, когда период образования завихрения близок к поперечному естественному периоду плавучего сооружения, которое в этом случае стандартным образом колеблется в направлении, перпендикулярном течению в периодической схеме. Поперечное движение в нормальных условиях выражается, как отношение поперечного VIM с одиночной амплитудой к диаметру колонны (a/d). Тем не менее, поперечный VIM иногда имеет асимметричную схему. В этом случае поперечный a/d должен указываться для двух противоположных направлений. Поперечный VIM является функцией большого числа параметров, таких как уменьшенная скорость, тип плавучего сооружения («spar», полупогружное, TLP), конфигурации пояса наружной обшивки (форма, высота и покрытие), характеристики течения (профиль, скорость и направление), и принадлежности к корпусу (анод, цепь, направляющий блок, и труба), и т.п.

A.7.4.7.2.3 VIM в направлении линий

VIM в направлении линий совпадает с направлением течения, и может влиять на поперечное VIM. Амплитуда движения в направлении линий также является функцией параметров, которые обсуждались выше в отношении поперечного VIM. В диапазоне захватывания амплитуда движения в направлении линий, как правило, намного меньше, чем амплитуда поперечного движения. Данные полевых измерений для классической платформы «spar» с системой позиционирования с оттяжками, отстоящими на равном расстоянии друг от друга, указывают на амплитуду движения в направлении линий 10 % - 15 % поперечного движения^[155] в условиях захвата. Тем не менее, величина движения в направлении линий может быть выше, если естественный период для движения в направлении линии соответствует примерно половине естественного периода для поперечного движения (линейный резонанс). Кроме того, несимметричная система позиционирования может привести к траектории VIM, для которой основная ось VIM не является поперечной по отношению к направлению течения.

Вследствие меньшего диаметра колонн по сравнению с платформами «spar», многоколонные плавучие сооружения также могут иметь отклики на участке после захватывания ($V_r > 10$). В этом случае поперечные отклики и отклики в направлении линий являются негармоническими со случайно выбранными амплитудами и частотами в более широком диапазоне, а кроме того, поперечные отклики и отклики в направлении линий имеют аналогичные величины.

A.7.4.7.2.4 Коэффициент сопротивления

Модельные испытания, как правило, используются для определения коэффициента сопротивления, C_d , для применения в конструкции. Базовый коэффициент сопротивления C_{d0} принимается для случая, когда $a/d = 0.0$

(нет VIM), а коэффициенты динамичности применяются для учета эффектов VIM. Увеличение сопротивления является функцией a/d и V_r и может быть выражено в виде [156], [157], [158]:

$$C_d = C_{d0} \left[1 + k \left(\frac{a}{d}, V_r \right) \right] \quad (\text{A.4})$$

Где:

k – неопределенная функция a/d и V_r .

Средняя сила сопротивления, действующая на цилиндр, которая определяется по формуле

$$F_d = C_d \frac{1}{2} \rho V_c^2 A_p \quad (\text{A.5})$$

Где:

C_d – средний коэффициент сопротивления (абсолютная скорость течения) в присутствии VIM;

ρ – плотность жидкости;

V_c – скорость течения свободного потока;

A_p – развернутая поверхность.

В диапазоне захватывания коэффициент сопротивления увеличивается почти линейно с a/d . Для классических платформ «spar», где диаметр цилиндра точно определен, коэффициент сопротивления в условиях захватывания может быть выражен следующим уравнением:

$$C_d = C_{d0} + f \left(\frac{a}{d} \right) \quad (\text{A.6})$$

Где:

C_d – коэффициент сопротивления платформы «spar» с VIM;

C_{d0} – коэффициент сопротивления «spar» без VIM;

f – специфичный коэффициент для корпуса.

Коэффициент f является специфичным для корпуса, и в нормальных условиях определяется модельными испытаниями. Он также зависит от определения a/d и C_d (экстремальное или среднее a/d , и абсолютная, или относительная скорость C_d). Некоторые публикации, на которые дается ссылка, демонстрируют изменчивость сопротивления, которая наблюдается в модельных испытаниях. Такая изменчивость может гарантировать проверки чувствительности по прогнозам сопротивления, как часть конструкции системы позиционирования.

A.7.4.7.3 Эффекты глубины моря и турбулентности течения

В то время, как величина VIM, как правило, не является прямой функцией глубины моря, однако, на VIM и натяжение якорных линий действуют изменения жесткости на различных глубинах. Жесткость системы позиционирования, обычно, увеличивается при уменьшении глубины. Увеличенная жесткость системы позиционирования на меньшей глубине может уменьшить или даже подавить VIM при определенных условиях, из-за того, что результирующее значение V_r меньше, порога захватывания. Тем не менее, если более высокая жесткость не уменьшает и не подавляет VIM, то якорная оттяжка может испытывать значительное увеличение натяжения в направлении линий. Отраслевой опыт показывает, что VIM может спровоцировать значительное увеличение натяжения якорных линий для стандартных стальных натянутых якорных линий в диапазоне глубин 600 – 1 000 м, где амплитуды VIM составляют значительную долю общего смещения. Влияние VIM на натяжение линий намного меньше на глубинах, превышающих 1 500 м, поскольку жесткость якорных линий, как правило, уменьшается, в то время как амплитуда VIM остается сходной по величине, независимо от глубины. Хотя VIM аналогичной величины, скорей всего, будет менее разрушительным для глубоководных систем позиционирования, эффекты VIM должны, по-прежнему, учитываться. Большой уклон морского дна приводит к сильно отличающимся глубинам установки якорей для разных линий, вызывая направленные изменения жесткости систем позиционирования. Это, в свою очередь, может вызвать направленный отклик VIM.

В то время, как корреляция между имеющимися ограниченными данными полевых измерений «spar» VIM и результатами модельных испытаний не указывает на то, что турбулентность океанских течений влияет на отклик «spar» VIM, однако имеются доказательства на основе модельных испытаний, что высокие уровни турбулентности в модельном бассейне могут влиять на отклик VIM. Структура и интенсивность турбулентности в океанских течениях и потенциальное воздействие турбулентности течений на VIM не вполне понятно, и его нужно далее наблюдать и исследовать.

A.7.4.7.4 Природные факторы

A.7.4.7.4.1 Течение

Наиболее распространенными категориями течений являются:

- приливные течения (связанные с астрономическими приливами);
- круговые течения например, Гольфстрим, круговое течение Мексиканского залива и сопутствующие завихрения, Бразильское течение);

- течения, вызываемые штормами;

- солитоны (течения), вызываемые внутренними волнами.

«Spar» VIM, формируемые платформами типа «Spar», были обнаружены в Мексиканском заливе в присутствии завихрений и инерционных течений, создаваемых ураганами. Другие типы течений также могут

вызывать VIM.

A.7.4.7.4.2 Окружающая среда для расчета на прочность

Анализ прочности системы позиционирования в условиях VIM в нормальных условиях проводится для экстремального течения с сопутствующим ветром и волнами. Тем не менее, течение применительно к событию VIM по наихудшему сценарию силы не обязательно возникает с повторяемостью в 100 лет, но может относиться к течению, имеющему меньшую повторяемость, совпадающую с захватыванием и VIM. Гидрометеорологические критерии должны показывать скорость течения, профиль и направление, а также интенсивность и направление (лежащее на одной прямой, или не лежащее на одной прямой) ветра и волн, которые сопутствуют экстремальным течениям. Тем не менее, недавние опыты свидетельствуют, что нужно учитывать экстремальный ветер и волны, сопутствующие течению.

A.7.4.7.4.3 Окружающая среда для усталостного анализа

Для долговременного усталостного анализа условия течения могут быть представлены рядом дискретных бинов течения, и каждый бин течения будет состоять из исходного направления, исходной скорости и профиля, а также сопутствующих ветровых и волновых условий, и вероятности возникновения. Исследования также показывают, что у некоторых системах позиционирования, значительное усталостное разрушение может быть вызвано одиночным экстремальным событием VIM, которое также должно быть рассмотрено. Течение применительно к событию VIM по наихудшему сценарию усталости, не обязательно возникает с повторяемостью в 100 лет, но может относиться к течению, имеющему меньшую повторяемость. Для усталостного анализа одиночных событий VIM, критерии течений должны содержать информацию по скорости, профилям и направлениям течений, а также по продолжительности (нарастание и убывание) событий, связанных с течениями, которые охватывают диапазон повторяемости.

A.8 Анализ системы позиционирования

A.8.1 Основные факторы

Указания отсутствуют.

A.8.2 Смещение плавучего сооружения

Общепризнанно, что помимо объединения неизменных компонентов ветра, волн и течения, обстоятельства могут потребовать добавление VIM, чтобы определить среднее смещение плавучего сооружения. В настоящее время, в отрасли нет единого мнения по поводу методики комбинирования средних эффектов VIM со средними эффектами ветра, волн и течения.

A.8.3 Отклик плавучего сооружения

A.8.3.1 Аналитические методы

A.8.3.1.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.8.3.1.2 Использование частотной области

Указания отсутствуют.

A.8.3.1.3 Использование временной области

Значение конкретного параметра отклика (смещения сооружения, натяжения линий, усилий позиционирования, длины участка линии, утопленной в грунт, и т.п.), используемого в моделировании одиночной временной области будет варьироваться на уровне расчетного значения. Поэтому, необходимо использовать методики подгонки статистических данных и повторение моделирования, чтобы установить приемлемую достоверность в прогнозируемом экстремальном отклике. Количество повторений моделирования, которое потребуется, будет зависеть от характеристик экстремальных значений параметров отклика системы и сложности статистических методов, используемых для прогнозирования максимального значения. В частности, можно предположить, что разброс (стандартное отклонение) реализаций экстремальных значений на основе отдельных моделирований шторма может увеличиваться по мере того, как количество низкочастотных циклов в продолжительности шторма будет уменьшаться (по мере увеличения низкочастотных естественных циклов).

Для сооружений, пришвартованных за турель, естественный период вращения по рысканью сооружения, как правило, будет значительно больше, чем естественные периоды продольного и бокового сноса. Когда естественные периоды рысканья длительные, то прогнозируется большой разброс (стандартное отклонение) реализаций экстремальных значений на основе отдельных моделирований шторма. Поэтому, большое количество повторений моделирования шторма, обычно, требуется чтобы установить приемлемую достоверность в прогнозируемом максимальном отклике. Указания по этим аспектам приведены в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.8.3.1.4 Комбинированное использование временной и частотной области

В этом подходе средние и низкочастотные отклики моделируются во временной области, которая допускает нелинейные отклики по жесткости якорных линий и райзеров, а также действий сооружения из-за квадратичных терминов и изменений угла рыскания. Постоянные или переменные действия подруливающих устройств также можно моделировать. Переходные движения, которые образуются в результате обрыва линии, или поломки подруливающего устройства, можно оценить, указав время поломки в анализе во временной области. В отличие от анализа с использованием полной временной области, оценка низкочастотного демпфирования из-за якорных линий и райзеров не может быть включена в это моделирование из-за отсутствия компонентов частоты волн. Демпфирование надо оценивать отдельно, и использовать, как входной параметр.

Движения сооружения на частоте волн вычисляются отдельно в частотной области на основе операторов амплитудной характеристики (RAO) движения сооружения, а также спектра волн. Эти движения можно объединить с низкочастотными движениями двумя способами. Первый метод предусматривает решение в

частотной области движений сооружения на частоте волны, которые трансформируются в изменение во времени, и которые добавляется к среднему и низкочастотному смещению сооружения, чтобы появиться в объединенном смещении сооружения. В этом случае изменение во времени частоты волны должно вычисляться для той же самой серии волн (случайные значения), используемых для создания временного графика низких частот с учетом текущего положения и курса плавучего сооружения (как это получено на основе низкочастотного временного графика), чтобы получить согласованные результаты.

Второй метод предусматривает, чтобы временной график среднего отклика и низкочастотного отклика были проанализированы статистически для определения экстремальных значений, которые затем объединяются с экстремальными значениями отклика частоты волны для появления в максимальном смещении сооружения.

A.8.3.2 Статистика экстремальных значений

Следует отметить, что распределение Рэйли не всегда обеспечивает консервативные прогнозы экстремальных движений. Особую проблему вызывают пришвартованные сооружения с пассивной турелью, которые не поддерживают постоянного курса из-за низкочастотных движений рысканья. На экстремальный отклик может оказывать существенное воздействие варьирование курса плавучего сооружения, и при использовании распределения Рэйли можно сильно недооценить экстремальное значение.

A.8.3.3 Низкочастотное демпфирование

Методология, использованная при оценке низкочастотного вязкого демпфирования для плавучего сооружения, в целом, хорошо отработана, и вязкое демпфирование обычно включается в вычисления низкочастотных движений.

Демпфирование волнового дрейфа и системы позиционирования, однако, является более сложным, и часто не учитывается из-за недостаточного понимания этих компонентов демпфирования. Исследование свидетельствует о том, что демпфирование волнового дрейфа и системы позиционирования может быть важным. Они могут даже превышать вязкое демпфирование при определенных условиях, и пренебрежение ими может привести к значительной переоценке низкочастотных движений. В тех случаях, когда низкочастотные движения являются важным фактором конструкции, как например в случае судовых сооружений, может потребоваться оценить демпфирование на основе всех указанных источников посредством анализа или модельных испытаний.

Демпфирование зависит от глубины моря и количества якорных линий и райзеров, помимо фактического состояния моря и профиля течения. Для стационарных систем позиционирования используемое демпфирование должно быть верифицировано за счет модельных испытаний. Консервативный уровень демпфирования используется при отсутствии более точной информации.

A.8.3.4 Учет особенностей райзеров

Указания отсутствуют.

A.8.3.5 Факторы движения, индуцированного завихрением

A.8.3.5.1 Общие положения

A.8.3.5.1.1 Отклик плавучего сооружения

A.8.3.5.1.1.1 Режимы отклика VIM

Воздействие, вызываемое образованием завихрений на корпусе сооружений с плохообтекаемыми корпусами, может вызывать отклик в любом из шести режимов твердого тела. Основным опасением в отношении большинства плавучих сооружений является поперечный (боковой снос) отклик, а также отклик в направлении линий (продольный снос), которые, как правило, включаются в анализ системы позиционирования. Тем не менее, возможные эффекты воздействий от образования завихрений на другие режимы откликов также должны быть проверены. Например, для некоторых плавучих сооружений сильные отклики дифферента при килевой качке, бортовой качке или рысканье, или сильные средние поперечные смещения могут влиять на систему позиционирования.

Для многоколонных плавучих сооружений в дополнение к откликам рысканья в модельных испытаниях часто наблюдаются сложные негармонические отклики и/или ненулевые средние поперечные отклики. Это может происходить из-за асимметричных и нестационарной/негармонической природы потока жидкости, который имеет тенденцию к усложнению в присутствии нескольких колонн и понтонов.

A.8.3.5.1.1.2 Прогнозирование отклика VIM

Модельные испытания в настоящее время являются основным инструментом для прогнозирования VIM из-за трудностей получения полномасштабного отклика своевременно, а также отсутствием валидированного численного или аналитического подхода. Промышленные исследования предлагают, тем не менее, что модельные испытания способны лишь точно моделировать некоторые эффекты, при этом приуменьшая другие. Поэтому достоверность результатов модельных испытаний и критериев проектирования VIM должна быть установлена посредством сравнения с данными полевых измерений. Опора на модельные испытания, ограничения по модельным испытаниям, и ограниченная валидация по полномасштабным данным должна быть признаны в качестве потенциальных источников неопределенности в процессе проектирования. Более подробная дискуссия по модельным испытаниям изложена в A.8.3.5.1.2.

A.8.3.5.1.1.3 Статистика пиковых значений

Конструкция систем позиционирования с точки зрения силы VIM и усталости, как правило, базируется на специальных критериях, разработанных для экстремальных VIM. Это является отходом от более традиционных подходов, базирующихся на стандартном отклонении и пиковых значениях, которые, в свою очередь, являются функцией продолжительности экстремального природного события. Традиционный подход не используется в отношении VIM, поскольку статистические данные по пиковому значению не были точно установлены для

поперечных и направленных по линиям VIM, и продолжительность экстремального природного события, например течение с повторяемостью в 100 лет, трудно оценить по нескольким местам.

Предварительное исследование некоторых полномасштабных данных, а также данных модельных испытаний в отношении VIM классических платформ типа «spar» в диапазоне захватывания (где движение хорошо изучено и подтверждено) указывает максимум отношения стандартного отклонения для VIM в направлении линий на уровне примерно 85 % - 90 % того, которое было определено распределением Рэйли. Для поперечных VIM в диапазоне захватывания отношение максимального к стандартному отклонению амплитуды VIM может варьировать от 1,6 до более 2,0, а в отношении продолжительности от нескольких часов до нескольких суток, соответственно. Эти значения даются только для иллюстрации, и не должны использоваться для конкретных случаев без дальнейших исследований.

A.8.3.5.1.2 Модельные испытания

A.8.3.5.1.2.1 Основные факторы

Модельные испытания, обычно, проводятся с целью исследования VIM и методов снижения VIM. Серьезные методы модельных испытаний VIM должны адекватно рассматривать следующие аспекты:

- Геометрическое масштабирование;
- Динамическое масштабирование;
- Гидродинамическое масштабирование;
- Моделирование выступающих частей;
- Характеристики жесткости системы позиционирования;
- Степени свободы;
- Направление и профиль течения;
- Направленное разрешение;
- Демпфирование стенда;
- Влияние загромождения (стены);
- Длина записи отклика.

С начала 1990х, значительные усилия были посвящены совершенствованию методологии проведения модельных испытаний с целью получения более достоверных прогнозов откликов VIM. В ходе последних модельных испытаний были получены прогнозы VIM для платформы типа «spar», которые достоверно сравниваются с полевыми измерениями [155]. Тем не менее, все модельные испытания, проведенные вплоть до настоящего времени, могут лишь достоверно моделировать конкретные параметры, а другие при этом лишь аппроксимировать. Различные методологии и практики модельных испытаний могут приводить к различным результатам испытаний. Достоверность результатов модельных испытаний, и критериев проектирования VIM должна постоянно увеличиваться посредством строгого соблюдения надежных инженерных принципов и сравнений с полевыми измерениями, если таковые имеются. Опора на модельные испытания, ограничения по модельным испытаниям и ограниченная валидация с помощью полномасштабных данных должны рассматриваться, как потенциальные источники неопределенности.

A.8.3.5.1.2.2 Параметры модельных испытаний

A.8.3.5.1.2.2.1 Подобное преобразование потока

Гидродинамическое подобное преобразование между масштабом прототипа и масштабом модели потока жидкости в модельных испытаниях морских сооружений [159] определяется числом Рейнольдса и числом Фруда.

Безразмерное число Рейнольдса, Re , определяется следующим образом

$$Re = \frac{V_c}{\nu} d \quad (A.7)$$

Где:

V_c - характеристическая скорость (например, скорость потока), в м/с;

d - характеристическая длина (например, диаметр корпуса), в м;

ν - кинематическая вязкость жидкости в м²/с.

Безразмерное число Фруда, F_n определяется следующим образом

$$F_n = \frac{V_c}{\sqrt{g d}} \quad (A.8)$$

Где в дополнение к обозначениям Уравнения (A.7)

g - гравитационное ускорение в м/с²

Приравнивание числа Рейнольдса и числа Фруда одновременно для потоков модели и прототипа (полномасштабная структура), тем не менее, практически невозможно. Для модельного размера d , который существенно меньше прототипа, либо гравитационное g нужно существенно увеличить, или вязкость ν испытательной жидкости нужно значительно уменьшить. Ни одно из этих изменений невозможно осуществить в испытательном бассейне.

Для раздельных режимов потока, которые, скорей всего, вызовут VIM, масштабирование числа Рейнольдса является ключевым аспектом. Масштабирование Рейнольдса очень трудно выполнить для морского плавучего сооружения. Для корпуса платформы «spar» диаметром 20 – 50 м и скоростей течения 1,0 - 2,5 м/с число Рейнольдса для прототипа находится в диапазоне 20 000 000 - 100 000 000. Приравнивание таких чисел

Рейнольдса в модельном бассейне потребует, чтобы модель испытывала гидродинамическое воздействие такой же величины, как у прототипа, а это практически невозможно. Поэтому используются два базовых подхода к испытаниям: закритическое и докритическое число Рейнольдса.

а) Модельные испытания с закритическим числом Рейнольдса. Испытания с закритическими числами Рейнольдса проводятся, чтобы получить режим потока, аналогичный потоку, который получается в полном масштабе [155], [160], [161]. Закритические модельные испытания, проводимые с числами Рейнольдса между 600 000 и 2 000 000 для классических платформ «spar» показали хорошее согласование с полномасштабными ($15\,000\,000 < R_e < 40\,000\,000$) откликами, измеренными в полевых условиях. Тем не менее, модельные испытания с закритическими числами Рейнольдса предусматривают потребность в модельном бассейне большой емкости, и вплоть до настоящего времени в закритических модельных испытаниях использовались только модели с одной степенью свободы с одинаковым профилем течения.

б) Модельные испытания с докритическими числами Рейнольдса. Для цилиндров со спиральными поясами обшивки, разделение потока в ближнем поле контролируется острыми краями пояса обшивки, а не эффектами граничного слоя [162]. Кроме того, можно рассмотреть отклик сооружения с шестью степенями свободы и включить меняющийся профиль течения в модельное испытание. Докритические модельные испытания проводились с числами Рейнольдса между 50 000 - 400 000 для платформы «spar», и удалось получить консервативные результаты после сравнения с полномасштабными ($30\,000\,000 < R_e < 40\,000\,000$) измерениями [155], [163].

A.8.3.5.1.2.2.2 Динамическое подобное преобразование

Динамическое подобное преобразование, в целом, анализирует режимы вибрации твердого тела сооружения. Для исследований VIM подобное преобразование может быть ограничено моделированием лишь режимов твердого тела, которые, скорее всего, будут испытывать захватывание. Например, платформа «spar» может испытывать захватывание в боковом сносе на более низких скоростях и в бортовой качке при более высоких скоростях [164]. В некоторых случаях две степени свободы могут реально проявлять сцепление (одновременное захватывание). В таких обстоятельствах важно, чтобы режимы и периоды бокового сноса и бортовой качки были надлежащим образом масштабированы. С другой стороны, если поперечный боковой снос является преобладающим откликом VIM, то испытания с твердым телом с одной степенью свободы показали приемлемое согласование между модельными испытаниями и полномасштабными данными [160].

Уменьшенная скорость V_r , которая была введена в п. 8.3.5.2, является важным безразмерным параметром для VIM:

$$V_r = \frac{V_c T}{d} \quad (A.9)$$

В этом выражении определение характеристического периода T может варьироваться. Если T определено, как естественный период плавучего сооружения в стоячей воде, то захватывание VIM для классической платформы «spar», как правило, возникает для значений $4 \leq V_r \leq 10$.

Чтобы достичь надлежащего сходства VIM структуры жидкости, уменьшенная скорость модельного потока должна совпадать с уменьшенной скоростью потока прототипа. Иначе говоря, в дополнение к подбору надлежащего масштаба для V_c и d , масштабирование для периода T также должно быть соответствующим.

Отношение масс оказывает большой эффект на диапазон захватывания, и, возможно, на амплитуду [165], [166], [167]. Отношение масс для свободноплавающего тела по определению равно 1,0 (смещение = вес). Это отношение масс также должно поддерживаться и для модельных испытаний.

A.8.3.5.1.2.2.3 Геометрическое подобное преобразование

A.8.3.5.1.2.2.3.1 Общие положения

Чтобы достигнуть геометрическое подобное преобразование, геометрическая форма корпуса и поясов обшивки (если уместно) для прототипа и модели должна быть точно масштабирована. Геометрическое подобное преобразование должно распространяться на любые строительные проемы в поясах обшивки, опорах (которые могут изменить поток вдоль поясов обшивки), цепях, анодах, внешних трубах и другие вспомогательных приспособления, которые могут повлиять на поток вокруг корпуса. Некоторые элементы, например, элементы фермы ферменной платформы «spar» могут привести число Рейнольдса, зависящее от эффектов вязкостного демпфирования. Необходимо с осторожностью моделировать эти конструкции.

A.8.3.5.1.2.2.3.2 Модельный масштаб

Чтобы модель была геометрически сходна с прототипом, форма модели должна быть аналогичной форме прототипа, с меньшей характеристической длиной. Для факторов, относящихся к гидродинамическому воздействию, принято использовать модели меньшего масштаба (отношение 1/100) для модельных испытаний с высокими, закритическими числами Рейнольдса и сравнительно более крупные масштабы моделей (отношение 1/50) для модельных испытаний с низкими, докритическими числами Рейнольдса.

A.8.3.5.1.2.2.3.3 Вспомогательные элементы

Все детали корпуса нужно моделировать точно. Для платформ типа «spar» это включает все вспомогательные элементы, такие как направляющие блоки, трубы, цепи, аноды, райзеры и выкидные линии. Детали поясов обшивки, включая выемки или отверстия в поясах обшивки, также должны моделироваться правильно. Точное моделирование вспомогательных элементов очень важно при разработке направленной

чувствительности VIM и эффективности проведения испытаний устройств, подавления VIM, таких, как пояса обшивки.

Для плавучих сооружений с прямоугольными колоннами разделение потока менее чувствительно к наличию вспомогательных элементов.

A.8.3.5.1.2.3.4 Степени свободы модели

Были использованы модели с одиночными и множественными степенями свободы. Для моделей с одиночной степенью свободы, которые, в основном, использовались в испытаниях с высокими (закритическими) числами Рейнольдса, допускается лишь поперечный VIM. Для моделей со множественными степенями свободы, которые, в основном, использовались в испытаниях с малыми (докритическими) числами Рейнольдса, сооружение может откликаться во всех шести степенях свободы. Относительная важность множественных степеней свободы моделей определяется уровнем связи между движениями с различными степенями свободы.

A.8.3.5.1.2.3.5 Характеристики жесткости системы позиционирования

Как правило, используются два подхода для моделирования распределения жесткости прототипа системы позиционирования. Один из подходов заключается в использовании уменьшенной скорости (V_r) в качестве независимого параметра. В модельных испытаниях отклик платформы «spar» измеряется при различных уменьшенных скоростях. На этапе проектирования поперечный период платформы «spar» (поэтому V_r) вычисляется при различных величинах смещения. При каждом смещении амплитуда отклика, используемая в проектировании, основана на V_r в этом месте. В этом подходе линейная симметричная система позиционирования может использоваться для наладки модельного испытания.

В альтернативном подходе моделируется фактическая система позиционирования с оттяжками платформы «spar». В этом случае текущая скорость является независимым параметром. Платформа «spar», как правило, имеет три или четыре группы якорных линий. Каждая якорная оттяжка, или группа якорных линий прототипа, моделируется с помощью эквивалентной якорной линии модели. Горизонтальная характеристика смещения усилий каждой якорной линии, или группы, моделируется с помощью двух- или трех линейной системой пружин, чтобы имитировать нелинейное смещение сил каждой линии или группы. Это позволяет моделировать полную нелинейность и асимметрию жесткости. Для некоторых систем позиционирования, таких, как сгруппированные системы позиционирования, асимметрия может повлиять на в высшей степени направленный отклик VIM.

A.8.3.5.1.2.3.6 Направление и профиль течения

Отклики VIM для платформ «spar» могут быть чувствительны к небольшим изменениям в направлении течения. Высокая разрешающая способность курса (например, при приращениях $10^\circ - 15^\circ$) может потребоваться для захвата максимального отклика VIM платформы «spar». Для многоколонных плавучих сооружений с прямоугольными или квадратными колоннами, имеется четкая направленная зависимость отклика VIM. Как правило, не наблюдается отклика VIM, когда угол падения течения меньше чем 15° по отношению к нормали лицевой части колонны.

Буксировочные испытания моделируют плоское течение, которое одинаково независимо от глубины. В действительности, расчетные течения имеют профиль и скорости, которые, как правило, уменьшаются с глубиной. Были предприняты попытки смоделировать профили срезающего течения в буксировочных, шлюзных и бассейновых испытаниях [168]. Попытки создать профили срезающего течения в масштабе модели, как правило, приводят к чрезмерной турбулентности. Должен быть проведен тщательный анализ интерпретации откликов VIM в присутствии турбулентного потока. Турбулентность срезающего потока в лабораторных условиях может быть уменьшена за счет использования меняющейся плотности/вязкости жидкости в различных слоях в модельных испытаниях.

A.8.3.5.1.2.3.7 Эффект свободной поверхности

Эффекты свободной поверхности могут быть важны, когда число Фруда больше 0,15. Для буксировочных испытаний с пересечением свободной воды модели корпуса «spar», скорость буксировки ограничивается сопротивлением волн (число Фруда). Буксировка на высокой скорости может привести к формированию чисел Фруда, которые значительно превышают число Фруда полного масштаба и преувеличивают эффекты свободной поверхности. Одним из способов избежать чрезмерное сопротивление волн в модельных испытаниях с высоким числом Рейнольдса является полное погружение горизонтально смонтированного зеркального отображения сдвоенного корпуса с разделительной пластиной посередине. Разделительная пластина используется, чтобы избежать сообщения потока по разделительной пластине.

A.8.3.5.1.2.3.8 Демпфирование

Демпфирование может влиять на отклик VIM, поэтому демпфирование (гидродинамическое или механическое), созданное в модельном бассейне, должно согласовываться с демпфированием, которое ожидается в полном масштабе. Так как механическое демпфирование можно вызвать с помощью испытательного оборудования, и оно отсутствует в полевых условиях, то необходимо внимательно подходить к этому вопросу, чтобы понять эффект демпфирования на отклик VIM и уменьшить такие эффекты [161]. Гидродинамическое демпфирование вследствие эффектов якорных линий и волн в модельных испытаниях должно тщательно анализироваться при оценке амплитуды полномасштабного VIM.

A.8.3.5.1.2.2.4 Длина записи отклика

Временные диаграммы модельных откликов должны быть достаточно продолжительными, чтобы получить значимые статистические данные, такие как стандартное отклонение, существенные и максимальные значения. Максимальная длина зависит от периодичности отклика VIM [160]. Когда движение VIM хорошо проработано и

подтверждается (например, полностью захвачено), то всего несколько циклов достаточно, чтобы установить максимальную амплитуду VIM. Если отклик VIM модулируется (например, в переходных участках захватывания и разблокирования), то должны использоваться более длинные записи для получения значимых статистических значений. В то время, когда эти части записей не генерируют сильный отклик VIM, они могут быть важны для вычисления усталости якорной линии. Поэтому, должны быть получены записи достаточной продолжительности. Переходный отклик при пуске должен быть исключен из статистического анализа.

A.8.3.5.1.2.3 Современные отраслевые практики

A.8.3.5.1.2.3.1 Общие положения

Как было указано в A.8.3.5.1.2.2.3.4, в отношении модельных испытаний VIM платформ «spar» в настоящее время имеется два подхода, которые сфокусированы на испытании либо закритических, или докритических чисел Рейнольдса. Предыдущие испытания выполнялись с использованием горизонтального погруженного цилиндра в емкость, где выполнялась буксировка с высокой скоростью [155], [160], [161], в то время, как последние выполняются с использованием плавучего, пересекающего свободную поверхность воды вертикального цилиндра с внешними пружинными оттяжками, моделирующими систему позиционирования [163], [164], [168], [169], [170], [171], [172]. Предыдущий подход ограничивается классическими платформами «spar».

Модельные испытания не проводятся для всех платформ «spar». Отклик VIM является самоограничивающимся, и для тех случаев, где граничный анализ показал, что система позиционирования не контролируется сильным течением или откликами VIM, тогда испытания VIM не проводятся [171].

A.8.3.5.1.2.3.2 Модельное испытание с закритическим числом Рейнольдса

В этом подходе модельные испытания проводятся для модельных чисел Рейнольдса в закритическом диапазоне (т.е. $Re > 600\,000$). Основа для испытаний модели корпуса в закритическом Re режиме заключается в допущении о том, что за пределами переходного диапазона, подобное преобразование прототипа и модели потока сохраняется. Модельные испытания при закритических числах Рейнольдса для VIM классических «spar» демонстрируют сравнительно хорошее согласование с полевыми измерениями [160], [161].

Модельное испытание с большими числами Рейнольдса предъявляет высокие требования к ресурсам модельного бассейна, и может проводиться только на нескольких испытательных стендах по всему миру. Примеры больших закритических модельных испытаний классической платформы «spar» можно найти в [160], [161]. Описанная установка использовалась для буксировки модели корпуса «spar» при Re вплоть до 2 000 000.

A.8.3.5.1.2.3.3 Модельные испытания с малым числом Рейнольдса

В этом подходе модель представляет собой либо буксируемую с малой скоростью модель, или модель, испытываемую локально в шлюзовом или волновом бассейне с возможностью создания течения. Масштабирование Фруда не требуется столь явно. Тем не менее, число Фруда, как правило, выбирается, поскольку оно меньше, чем у прототипа. В модельных испытаниях с числом Рейнольдса, обычно, используют закритический диапазон. Модельные испытания с малыми числами Рейнольдса для классических платформ spar продемонстрировали консервативные результаты по сравнению с полевыми измерениями [155]. Консерватизм получается вероятно из-за разницы между профилями течения в модельном испытании (однородном), и в полевом (неоднородном).

Преимуществом этого подхода является то, что движения во всех шести степенях свободы можно моделировать. Это позволяет определить отклики в таких степенях, как бортовая качка и дифферент при килевой качке, и учесть их в конструкции. Это также позволяет учитывать эффекты гидродинамических связей между различными степенями свободы. Способность использовать более крупные модели также позволяет осуществлять более тщательное моделирование частей и вспомогательных элементов корпуса. Вертикальная пришвартованная компоновка также делает возможным моделировать пространственные вариации (нелинейности и асимметрию) прототипа системы позиционирования. Еще одним преимуществом является то, что такой подход может осуществляться в модельных бассейнах без способности высокоскоростной буксировки. Примеры модельных испытаний с малыми докритическими числами Рейнольдса для «spar» можно найти в [155], [163], [164], [168], [172].

A.8.3.5.1.2.4 Данные полевых измерений по сравнению с данными модельных испытаний

Полевые измерения отклика VIM были записаны для трех классических платформ «spar» [155], [160], [161]. В полевых условиях профили течения варьируются по скорости и курсу по мере увеличения глубины, в противоположность плоскому течению, принятому в буксировочных испытаниях, описанных ранее. Поэтому значения модельных испытаний должны корректироваться и учитывать эти вариации.

Особый интерес представила классическая платформа «spar», для которой имеются полевые измерения при закритических и докритических числах Рейнольдса.

A.8.3.5.1.3 Методы усовершенствования конструкции системы позиционирования применительно к VIM

A.8.3.5.1.3.1 Канат из полиэстера для средней секции

Спиральные многожильные стальные тросы, как правило, устанавливаются в средней секции систем позиционирования платформ «spar». Использование канатов из полиэстера на этом участке может иногда снизить натяжение линий из-за VIM, поскольку меньшая жесткость каната делает линии из полиэстера более эластичными применительно к движениям крупных плавучих сооружений. Применение канатов из полиэстера

уменьшает $V_{f,}$, которое, в свою очередь, может предотвратить захватывание. Вариации натяжения в результате динамического воздействия на плавучее сооружение могут быть меньше в варианте системы позиционирования из полиэстера. Это приводит к уменьшению усталостного разрушения всех компонентов системы позиционирования, включая цепи, которые, в целом, имеют наименьшую усталостную прочность. С исследованием чувствительности, в ходе которого изучается эффект использования канатов из полиэстера вместо витых многожильных стальных тросов можно ознакомиться в [170].

A.8.3.5.1.3.2 Спиральные многожильные тросы для верхних и нижних участков

Цепи, как правило, устанавливаются в верхней (конструктивной) и нижней (якорной) секциях якорных линий для платформ «spar». Применение спиральных многожильных тросов на этих участках может существенно снизить усталостное разрушение вследствие VIM, поскольку спиральные многожильные тросы имеют значительно более высокую усталостную прочность, чем цепь. Такой вариант требует серьезных модификаций оборудования, которое включает в себя замену цепных подъемников и направляющих блоков для цепей линейными лебедками и гибочными башмаками. В отрасли имеется достаточный опыт по системам позиционирования с использованием спиральных многожильных тросов, линейных лебедок и гибочных башмаков.

A.8.3.5.1.3.3 Усовершенствованные направляющие блоки для цепей

Цепная секция, контактирующая с направляющим блоком, более подвержена усталостному разрушению поскольку имеются изгибающие силы помимо натяжения. Направляющие блоки для цепей с семью углублениями, как правило, используются для швартовых приспособлений «spar». Применение направляющих блоков для цепей с девятью углублениями может уменьшить изгиб цепей, таким образом, уменьшая усталостное разрушение на этом участке. Кроме того, конструкция направляющего блока для цепей предусматривает тугую посадку между цепью и углублением направляющего блока, и это обеспечивает значительно меньшую концентрацию напряжения и большую усталостную прочность. Альтернативным образом может быть использован гибочный башмак для уменьшения концентрации напряжения в цепи.

A.8.3.5.1.3.4 Конструкция пояса обшивки

VIM можно уменьшить за счет усовершенствованной конструкции пояса обшивки. Варианты включают в себя усовершенствование формы пояса, увеличение высоты пояса, а также устранение прерываний и отверстий в поясах. Чтобы оценить эффективность этих опций, должна быть реализована четкая программа модельных испытаний.

A.8.3.5.1.3.5 Вспомогательные элементы корпуса

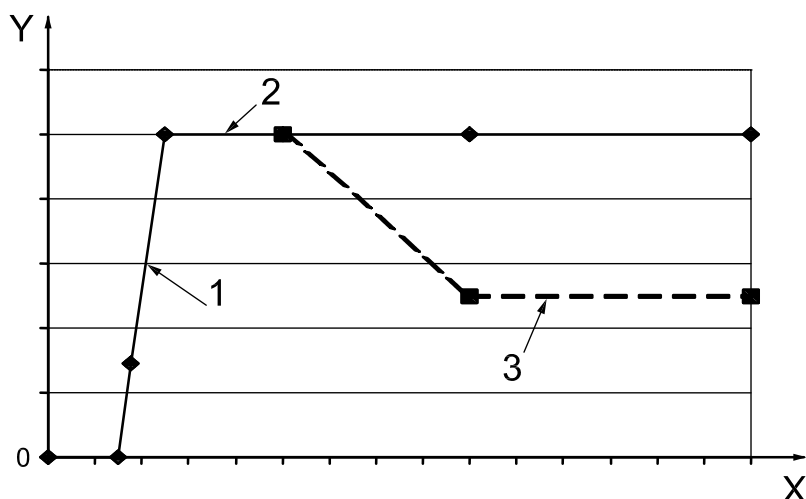
Вспомогательные элементы корпуса включают в себя аноды, цепь, направляющие блоки, и трубы, и могут влиять на отклик VIM платформы «spar». Меры по устранению или уменьшению отрицательного воздействия этих вспомогательных элементов может уменьшить VIM. Для оценки эффективности этих мер нужно реализовать четкую программу модельных испытаний.

A.8.3.5.1.3.6 Натянутые якорные линии

VIM не наблюдается в модельном бассейне, пока V_f ниже порогового значения. В некоторых случаях это условие может быть достигнуто в полевых условиях, путем затягивания якорных линий, например, за счет применения более сильного начального натяжения, или путем натягивания системы позиционирования преддверии событий, связанных с сильным течением, таким образом уменьшая естественный период пришвартованного сооружения, и устраняя VIM для скоростей течения ниже максимального расчетного значения. Принятие подобных мер должно основываться на точных модельных испытаниях и анализе, а также на анализе чувствительности для более сильного течения и более низкого порога V_f . Эксплуатационная процедура по обеспечению натянутой системы позиционирования в ходе событий с сильным течением также должна быть разработана [173] и включена в морское руководство по эксплуатации.

A.8.3.5.2 Критерии анализа прочности VIM

Пример построения расчетной кривой V_f в зависимости от a/d представлен на Рисунке A.9 и демонстрирует переход с захватыванием, участок захватывания и разблокированный участок. Этот тип кривой, как правило, используется для определения амплитуды отклика VIM. Для большинства платформ «spar» и других пришвартованных плавучих сооружений, испытывающих воздействие VIM, амплитуда отклика варьируется с направлением течения с той же уменьшенной скоростью. Особое внимание нужно уделить определению отклика VIM в зависимости от курса течения при установлении критериев проектирования.



Обозначения

X уменьшенная скорость (V_r)

Y амплитуда VIM(a/d)

1 переход с захватыванием

2 захватывание

3 возможное разблокирование

Рисунок 9 — Пример амплитуды VIM в зависимости от уменьшенной скорости

A.8.3.5.3 Анализ прочности VIM

Анализ системы позиционирования для условий VIM с сильным течением может потребовать специального компьютерного программного обеспечения, способного моделировать VIM в частотной или временной области. Ниже приведена упрощенная процедура анализа, которая может быть использована в случае, если можно не учитывать эффекты сопутствующего ветра и волн. Пример такого анализа прочности приведен в ссылке [170].

1) Выбрать направление течения.

2) Определить среднее смещение сооружения в условиях расчетного течения с сопутствующим ветром и волнами на основе расчетного C_d . Чтобы получить реалистичные результаты необходимо учитывать посадку на грунт платформы «srag».

3) Вычислить в направлении линий и поперечное VIM и C_d на основе критериев проектирования, установленных в соответствии с A.7.4.7.2.4. Если это значение C_d сильно отличается от расчетного C_d , то в Шаге 2, могут потребоваться итерации.

4) Определить конверт возможных максимальных смещений сооружения, включая эффекты течения/ветра/волн на смещение сооружения (Шаг 2), и VIM в направлении линий и поперечный (Шаг 3).

5) Определить натяжение линий и нагрузки на якорь, которые соответствуют конверту максимальных возможных смещений сооружения, вычисленных в Шаге 4 посредством статического анализа системы позиционирования.

6) Оценить дополнительное натяжение линий и анкерных усилий вследствие динамики линий, которые накладываются на квазистатические значения, полученные в Шаге 5.

7) Повторить Шаги 1 – 6 для получения натяжения линий и держащих сил якорей для других направлений течения.

8) Выявить наихудшее направление для контроля проекта.

Надлежащая аналитическая процедура должна включать эффекты движений, вызываемых волнами и ветром в сочетании с смещением, вызываемым течением, а также VIM.

A.8.3.5.4 Основные аспекты усталостного анализа VIM

Дальнейшие указания отсутствуют.

A.8.3.5.5 Усталостный анализ VIM для долговременных и одиночных событий

Рекомендуется анализировать усталость события VIM, возникающего с повторяемостью в 100 лет, поскольку в долговременном усталостном анализе одиночное экстремальное событие VIM распространяется в диапазоне направлений течения, и поэтому усталостное разрушение распространяется по различным оттяжкам. Тем не менее, событие связанное с кольцевым течением, возникающее с повторяемостью в 100 лет не появляется в долговременном усталостном анализе в качестве одиночного бина, который длится 40 дней, с практически постоянным направлением течения и медленно варьирующейся скоростью течения. Хотя одиночное событие VIM с повторяемостью в 100 лет имеет низкую вероятность возникновения, важно для конструктора и оператора знать вероятность отказа вследствие усталости в одиночном событии, связанном с течением, чье направление практически постоянное.

Рекомендуется выполнять следующую процедуру для оценки долговременного усталостного разрушения. Пример усталостного анализа приведен в ссылке [170].

1) Долговременные события, связанные с течением, могут быть представлены рядом дискретных бинов течения. Каждый бин течения состоит из эталонного направления и эталонной скорости течения с сопутствующими ветровыми и волновыми условиями. Вероятность возникновения каждого бина течения должна быть указана. Количество эталонных направлений зависит от направленности течения на площадке, а указанные направления должны включать те, для которых прогнозируется значительный VIM. Минимальное количество скоростей эталонных течений в нормальных условиях находится в диапазоне 10 - 50. Прогнозирование усталостного разрушения может быть очень чувствительно к этому количеству применительно к конкретным системам позиционирования, и, поэтому, лучше всего его определять посредством исследования чувствительности.

2) Выбрать бин течения и вычислить продолжительность t_i для бина течения в год на основе вероятности возникновения для этой комбинации скорости течения и направления.

3) Определить естественный период T_n пришвартованной платформы «spar» для бина течения без VIM на основе расчетного C_d .

4) Указать экстремальные значения a/d в направлении линий, и в поперечном направлении, с использованием имеющихся данных полевых измерений, или в ходе модельных испытаний. Среднее значение a/d для усталостного анализа можно оценить, умножив экстремальное a/d на коэффициент g , который необходимо определить в ходе имеющихся модельных испытаний, или на основе данных полевых измерений.

5) Определить в направлении линий и поперечный коэффициент C_v амплитуды VIM, который является функцией уменьшенной скорости, и равен 1,0 при максимальном VIM в условиях захватывания.

6) Вычислить уменьшенную скорость для бина течения, и дополнительно модифицировать средние значения a/d (Шаг 4) в направлении линий и поперечном направлении на C_v .

7) Определить коэффициент сопротивления C_d для бина течения на основе модифицированного среднего поперечного a/d (Шаг 6). Если это значение C_d существенно отличается от расчетного C_d в Шаге 3, то может потребоваться итерация.

8) Выполнить анализ системы позиционирования VIM на основе модифицированных средних значений a/d (Шаг 6) в направлении линий и поперечном, а также C_d (Шаг 7), используя процедуру для расчета на прочность. Определить средние диапазоны натяжения R_i , и соответствующий период отклика T_i на основе трассы времени натяжения линий для нескольких циклов VIM. Средний период отклика T_i может варьировать из-за относительной ориентации якорной линии и течения.

9) Определить количество циклов до отказа N_i , которые соответствуют R_i в отношении интересующего компонента системы позиционирования, используя соответствующее уравнение T-N. Цепь, как правило, имеет самую слабую усталостную прочность, и усталостная прочность цепи на направляющих блоках уменьшается еще больше из-за дополнительной концентрации напряжения из-за изгиба. Коэффициент концентрации напряжения, учитывающий изгиб на направляющих блоках, должен быть определен в ходе испытаний, и в результате анализа методом конечных элементов. Коэффициент f_c , который определяется, как отношение концентрации напряжения цепи на направляющем блоке к напряжению в направлении от блока, может быть использован для вычисления усталостной прочности звеньев цепи на направляющем блоке. Коэффициент f_c может сильно варьировать в зависимости от количества углублений в направляющем блоке, и посадке между блоком и цепью. Этот коэффициент может составлять 1,2 направляющего блока с семью углублениями и напряженной посадкой, но он может быть больше с направляющим блоком с ослабленной посадкой. Значение N_i уменьшается коэффициентом f_c^m на направляющем блоке, где m является обратным наклоном уравнения T-N.

10) Вычислить годовое усталостное разрушение для бина течения i :

$$D_i = \frac{\left(\frac{t_i}{T_i} \right)}{N_i} \quad (\text{A.10})$$

11) Повторить Шаги 2 - 10 для других бинов течения.

12) Определить совокупное усталостное разрушение для всех бинов течения, которое комбинируется с усталостным разрушением от ветра и волн, чтобы получить общее усталостное разрушение D_i (см. 9.3.3.3 в отношении методов объединения усталостного разрушения). Прогнозируемая усталостная прочность составляет $1/D_i$ (лет), которая должна быть больше срока службы, умноженного на коэффициент надежности.

A.8.4 Отклик якорных линий

A.8.4.1 Общие положения

Стационарные системы позиционирования должны проектироваться с учетом двух основных факторов: экстремальных значений натяжения линий и усталости. Поэтому, должен быть выполнен анализ экстремального отклика и усталостного разрушения. Для подвижных систем позиционирования необходимо выполнить лишь анализ экстремального отклика.

Процедура анализа, описанная в этом подпункте, может прямо применяться в отношении систем позиционирования на растяжках, а также в системах позиционирования с внутренними и наружными турелями. Для систем, в которых швартовка соединяется с сооружением с помощью буй (система CALM), или с помощью райзера (система «турель-райзер»), может использоваться аналогичная процедура. Тем не менее, оценка воздействия волн на буй или райзер, и трансформация движений сооружения на роторный стол с цепным приводом через буй или райзер требует специального анализа. Часто требуются модельные испытания или

анализ с использованием специальных инструментов. Такие виды анализа не рассматриваются в этой части ISO 19901.

Для системы CALM с швартовыми тросами указания даны в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и могут использоваться для модельных испытаний, проектирования и анализа швартовых тросов. Основу процедуры анализа системы позиционирования см. в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Как правило, экстремальные отклики определяют конструкцию системы позиционирования FPS. Они включают смещение сооружения, натяжение якорных линий, удерживающей силы якорей и длину подвешенной линии. Природные условия для экстремального отклика описаны в п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.8.4.2 Квазистатический анализ

Квазистатический метод не рекомендован для окончательной конструкции стационарной системы позиционирования. Тем не менее, из-за своей простоты этот метод может использоваться для временных систем позиционирования предварительных исследований стационарных систем с более высокими коэффициентами надежности.

A.8.4.3 Динамический анализ

Существует несколько методик динамического анализа. Отличительной чертой указанных методик является степень, до которой исследуются нелинейности. Существует четыре основных нелинейных эффекта, которые могут существенно влиять на поведение якорных линий.

q. Нелинейное поведение вытягивания линий

Напряжение, или тангенциальное вытягивание линии, является функцией величины натяжения. Нелинейное поведение этого типа, как правило, возникает только в якорных оттяжках из канатов с синтетическими волокнами. Цепи и стальные тросы можно считать линейными системами. Во многих случаях нелинейность можно не учитывать, и линеаризованное поведение допускается с использованием репрезентативного тангенциального или секущего модуля.

r. Изменения геометрии

Геометрическая нелинейность связана с крупными изменениями формы якорной линии.

s. Нагрузка жидкостью

Уравнение Морисона наиболее часто используется для представления эффектов нагрузки жидкости на якорные линии. Нагрузка от лобового сопротивления на линии пропорциональна корню квадратному относительной скорости (между жидкостью и оттяжкой) и поэтому она нелинейная.

t. Влияние дна

В большинстве конструкций систем позиционирования значительная часть линии контактирует с морским дном. Взаимодействие между оттяжкой и морским дном, обычно, рассматривается в качестве фрикционного процесса и поэтому является нелинейным. Кроме того, длина утопленной в грунт линии постоянно меняется, вызывая взаимодействие между этой нелинейностью и геометрической нелинейностью.

Два метода, а именно анализ в частотной области и анализ во временной области, обычно, используются для прогнозирования динамических сил позиционирования.

При использовании метода во временной области все нелинейные эффекты можно смоделировать. Эластичное вытягивание моделируется математически, полное уравнение Морисона включено, положение якорной линии уточняется для каждого временного интервала, а донное взаимодействие включено с использованием фрикционной модели. Общий анализ предполагает повторное вычисление каждого массового члена, члена демпфирования, термина жесткости, а также воздействия в каждый временной шаг. Поэтому вычисление может стать сложным и долгим.

Метод с использованием частотной области, с другой стороны, всегда линейный, базирующийся на принципе линейного наложения. Поэтому все нелинейности должны быть исключены, либо прямой линеаризацией или итеративной линеаризацией, как упоминается здесь.

u. Вытягивание линий

Взаимозависимость вытягивания линий должна быть линеаризована, и конкретное значение модуля принимается в каждой точке. Модуль не может быть функцией натяжения линий, но может варьироваться вдоль линии. Это, обычно, приемлемое допущение, даже в случае линий из синтетических волокон и, в большинстве случаев, может быть получена приемлемая линеаризация.

v. Изменение геометрии

При использовании метода использования частотной области допускается, что динамические перемещения представляют собой небольшие отклонения от статического положения. Статическая форма неподвижная, и все геометрические количества вычисляются на основе этого положения. Масса, добавленная масса, жесткость, и т.п. вычисляются лишь однажды. Изменения формы цепных линий из-за динамических движений, обычно, не сильные. Поэтому линеаризация по среднему положению, как правило, приемлемая.

w. Нагрузка жидкостью

Нелинейный термин в уравнении Морисона должен быть линеаризован путем замены квадратичной зависимости относительной скорости на эквивалентную линейную зависимость. Линеаризация должна учитывать частотный спектр движения линии.

x. Влияние дна

Фрикционное поведение между заглубленной в грунт оттяжкой и морским дном не может быть воспроизведено точно в частотной области. Только усредненное, или эквивалентное поведение линии, может быть постулировано и включено. Это упрощение должно быть скорректировано по задачам проектирования, т.е.,

обычно, требуются различные модели для оценки усталости и экстремального натяжения.

Относительное влияние различных нелинейностей является функцией многих параметров, а именно глубины моря, состава линии и величины движения. Методы аппроксимации нелинейностей в частотной области должны отражать важность различных параметров.

A.8.5 Натяжение линий

Указания отсутствуют.

A.8.6 Ограничения по длине линий и геометрии

Указания отсутствуют.

A.8.7 Силы удерживания якорей

Указания отсутствуют.

A.8.8 Анализ и оценка стандартной конфигурации позиционирования

A.8.8.1 Анализ в частотной области для систем позиционирования с оттяжками

Рекомендуется выполнить следующую процедуру.

у. Определить природные условия, такие как скорость ветра и течения, существенная высота волн и репрезентативные волновые периоды, их относительные направления, продолжительность шторма и спектр ветра и волн интересующего предельного состояния.

z. Определить схему позиционирования, характеристики сегментов якорной линии, которая будет развернута, а также начальное предварительное натяжение.

aa. Определить коэффициенты воздействия ветра и течения на сооружение и разработать гидродинамическую модель системы, включая плавучее сооружение, райзер и систему позиционирования.

bb. Определить среднее природное воздействие на корпус.

cc. Определить среднее смещение сооружения, как результат среднего воздействия природных факторов, используя статический анализ позиционирования, включая эластичное вытягивание линий и трение.

dd. Определить низкочастотные движения сооружения. Поскольку вычисление низкочастотных движений предусматривает знание параметров жесткости системы позиционирования, то использовать жесткость системы при среднем смещении, которое определено в cc.

ee. Определить существенные и максимальные движения сооружения на частоте волны, используя соответствующий инструмент для анализа движения.

ff. Определить экстремальные значения смещения, $S_{extreme}$, сооружения и соответствующую длину провисающей линии, квазистатическое натяжение, и нагрузку на якорь, используя статический анализ позиционирования.

gg. Если необходимо только квазистатическое решение, то пропустить этот шаг; а в других случаях определить наиболее вероятное максимальное натяжение линии, и наиболее вероятную силу удерживания якоря, используя частотную область или инструмент динамического анализа якорной линии во временной области, см. 9.3.5, 9.5.2 и 8.8.

hh. Сравнить экстремальные значения смещения сооружения и подвешенной части линии из шага ff а также экстремальные значения натяжения линии и силу удерживания якоря из шага ff или шага gg с расчетными критериями Статьи **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Если критерии не соблюдаются, то модифицировать конструкцию позиционирования и повторить анализ.

A.8.8.2 Анализ в частотной области для одноточечных систем позиционирования

Рекомендуется выполнить следующую процедуру.

ii. Определить природные условия, такие как скорость ветра и течения, существенная высота волн, а также репрезентативные волновые периоды, их относительные направления, продолжительность шторма и спектр ветра и волн интересующего предельного состояния.

jj. Определить схему позиционирования, характеристики сегментов якорной линии, которая будет развернута, а также начальное предварительное натяжение.

kk. Определить коэффициенты воздействия ветра и течения на сооружение и разработать гидродинамическую модель системы, включая сооружение, райзер и систему позиционирования.

ll. Вычислить комбинированный средний момент рысканья в районе точки позиционирования из-за волн, ветра, и течения. как функции курса сооружения. Эти моменты рысканья можно оценить на основе модельных испытаний, или вычисленного воздействия ветра, течения и дрейфа волн.

mm. На основе среднего момента рысканья из-за природных явлений определить равновесные курсы и их устойчивость. Устойчивые равновесные курсы возникают там, где общий момент рысканья по причине природных воздействий равен нулю и отклонение курса сооружения приводит к моменту рысканья, противоположному по направлению отклонению.

nn. Определить вращательную жесткость по рысканью при равновесном курсе. Для произвольной точки позиционирования (неблокированная турель) вращательную жесткость по рысканью представляет собой скорость изменений среднего момента рысканья из-за природных явлений по отношению к изменению курса.

oo. Определить стандартное отклонение низкочастотного отклика по рысканью сооружения вокруг устойчивых равновесных курсов, используя инструмент анализа движений. Это требует знания низкочастотного спектра момента рысканья, момента инерции по рысканью сооружения и добавленного момента инерции в районе точки позиционирования, вращательную жесткость по рысканью, а также демпфирование по рысканью сооружения и системы позиционирования. Все вышеперечисленное должно быть определено для устойчивого среднего курса рассматриваемого сооружения.

При отсутствии более точной информации, линеаризованный коэффициент демпфирования по рысканью

вокруг точки позиционирования может быть определен на основе демпфирования бокового сноса следующим образом:

$$C_{Rz} = \frac{1}{3} C_y \frac{(l_1^3 + l_2^3)}{(l_1 + l_2)} \quad (A.11)$$

Где:

C_{Rz} - линейный коэффициент демпфирования по рысканью, ньютонметры на радиан на секунду [Н м/(рад/с)];

C_y - линейное демпфирование по боковому сносу, в ньютонах на метр в секунду [Н/(м/с)];

l_1 - длина сооружения в направлении вперед от точки позиционирования, в метрах (м);

l_2 - длина сооружения в направлении кормы от точки позиционирования, в метрах (м).

pp. Вычислить три расчетных курса, с учетом среднего равновесного курса и движений по рысканью, см. ниже.

qq. Для каждого из трех расчетных курсов выполнить процедуру по анализу систем позиционирования с оттяжками, описанной в А.8.8.1 для вычисления отклика системы позиционирования.

Расчетные курсы по которым вычисляются отклики системы позиционирования могут быть взяты в качестве устойчивых равновесных курсов сооружения в условиях среднего воздействия природных факторов, и среднего плюс-минус одного стандартного отклонения низкочастотного движения по рысканью.

A.8.8.3 Анализ во временной области

Рекомендуется выполнить следующую процедуру.

rr. Определить природные условия, такие как скорость ветра и течения, существенная высота волн и репрезентативные волновые периоды, их относительные направления, продолжительность шторма и спектр ветра и волн интересующего предельного состояния.

ss. Определить схему позиционирования, характеристики сегментов якорной линии, которая будет развернута, а также начальное предварительное натяжение.

tt. Определить коэффициенты воздействия ветра и течения на сооружение и разработать гидродинамическую модель системы, включая сооружение, райзер и систему позиционирования.

uu. Выполнить моделирование во временной области для продолжительности шторма с использованием инструмента анализа позиционирования во временной области. Повторить много раз моделирование с использованием различных временных графики по волнам и ветру, вычисленные на основе входного спектра, см. 9.3.1.3.

vv. Использовать методики статистического анализа, чтобы определить максимальные значения смещения сооружения, натяжения линий, сил удерживания якоря, и параметров геометрии линий.

ww. Сравнить результаты из шага vv с расчетным критериями Статьи **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и с ограничениями по геометрии, описанными в 9.6.

Эта процедура относится только к полностью связанному анализу сооружения и его системы позиционирования. Частично связанные анализы могут обеспечить приемлемые аппроксимации, но требуют особого внимания в ходе их внедрения для получения реалистичных результатов.

A.8.9 Системы позиционирования с подруливающими устройствами

A.8.9.1 Общие положения

Системы позиционирования с помощью подруливающих устройств (ТАМ) должны конструироваться таким образом, чтобы по мере возможности, не было общих одиночных отказов. Должна планироваться серия морских испытаний, чтобы верифицировать анализ типа отказов и последствий (FMEA) системы подруливающих устройств и, по мере возможности, продемонстрировать эффекты различных режимов отказа, а также гарантировать, что имеется оборудование и внедрены процедуры, позволяющие безопасно бороться с отказами. Стандартные режимы отказа для систем подруливающих устройств следующие:

— Аварийный перерыв энергоснабжения — даже на наиболее передовых установках имеется риск, хотя и небольшой, полной потери электропитания,

— Частичный аварийный перерыв энергоснабжения — утрата одного центрального щита управления или машинного помещения,

— Одно подруливающее устройство, обеспечивающее полную мощность, развернулось в нежелательном направлении в течение 30 - 40 с перед остановкой,

— Отказ одного подруливающего устройства,

— Один гироскоп выдает неправильный курс, который искажается все больше, пока оператор не выполняет коррекцию,

— Одна точка отсчета положения дает неправильные данные во все возрастающем объеме, которые вначале принимаются оператором или системой зала управления,

— Один измеритель натяжения, счётчик на барабане, или аналогичное устройство. выходит из строя или выдает неправильные показания (завышенные или заниженные),

— Полный отказ одной объединенной движительной установки, или

— Полный отказ одной автоматической системы управления.

Критичность отказов должна оцениваться

xx. когда все оборудование в наличии и функционирует, как ожидается и

уу. в различных условиях частичной работоспособности.

Принципиальные результаты анализа типов отказов и последствий (FMEA), а также анализа доступности системы подруливающих устройств, будут представлять собой наихудший одиночный отказ. Когда среднее время простоя большое, и низкая надежность компонента или подсистемы, то определение наихудшего одиночного отказа должно обеспечить готовность системы. Это особенно важно для сооружений, которые должны оставаться на месте постоянно, поскольку требуется окно безветренной погоды для выполнения определенных работ по техобслуживанию и ремонту. Например, если ремонт, или замена неисправного двигателя требует безветренной погоды, то необходимо учитывать возможность второго отказа до того, как неисправный двигатель будет отремонтирован или заменен. Анализ готовности механических и электрических систем, в которых среднее время простоя обусловлено погодными условиями конкретной площадки, может быть использовано для оценки готовности тяги в течение расчетного срока службы установки.

Подруливающие устройства могут использоваться для содействия системе позиционирования путем снижения средних природных воздействий, контроля курса сооружения, демпфирования низкочастотных движений, или комбинации этих функций. Полупогружные морские платформы, как правило, имеют азимутальные винторулевые колонки, в свою очередь судовые сооружения, обычно, имеют туннельные или азимутальные винторулевые колонки, и обе могут иметь основные гребные винты. В целом, полупогружные установки имеют более высокую симметрию природных воздействий и эффективную тягу по сравнению с судовыми сооружениями. Стационарные установки, такие как FPS, которые, как правило, не ставятся в сухой док на регулярной основе, могут обладать меньшей готовностью подруливающих двигателей, особенно в зимний период, из-за трудностей демонтажа и ремонта двигателей.

Чтобы обеспечить практическое руководство, необходимо количественно определить допустимую тягу, используемую при выполнении анализа позиционирования для неизменных условий, контроля по избыточности и переходных условий. При определении допустимой тяги должны учитываться следующие аспекты:

- Эффективность подруливающих устройств и потери вследствие движений сооружения, течения, эффектов перекрестного взаимодействия двигатель/корпус и двигатель/двигатель, а также любых ограничений, связанных с направленностью;

- Вероятность частичной или полной утраты тяги. Анализ FMEA и анализ готовности системы должны выполняться для выявления наихудшего отказа системы, который считается равноценным расчетной ситуации;

- Эффективность системы управления двигателями и операторов в достижении оптимального использования. Это будет зависеть от типа системы управления двигателем и ее режима работы.

Рекомендуется, чтобы допустимая тяга, используемая в анализе позиционирования, была верифицирована в ходе морских испытаний системы с подруливающими устройствами.

А.8.9.2 Условия анализа

Динамический анализ системы в нормальных условиях выполняется, используя три оси (продольный снос, боковой снос и рысканье) модели во временной области. Эта имитационная модель создает среднее смещение и низкочастотные движения плавучего сооружения, а также отклики подруливающих устройств, которые соответствуют временным отметкам по конкретным природным воздействиям. В этом анализе обычно включены постоянный ветер, течение, равномерные воздействия волнового дрейфа, а также низкочастотное воздействие ветра и волнового дрейфа. Волновое воздействие на частоте волн, которым не противодействует система подруливающих устройств, могут быть исключены из моделирования. Движения на частоте волн вычисляются отдельно, используя программу движений плавучего сооружения, и добавляются к выходным данным модели во временной области. Для получения надлежащих экстремальных значений из временной области модели, обычно, нужно сгенерировать ряд воздействий и откликов на время продолжительности шторма, и вычислить экстремальные значения на основе статистического метода.

А.8.9.3 Определение допустимой тяги

А.8.9.3.1 Общие положения

В последующих подпунктах даются указания по определению тяги, создаваемой различными пропульсивными устройствами. Также обсуждаются аспекты, каким образом влияет монтаж и компоновка пропульсивных устройств, которая часто приводит к снижению имеющейся эффективной тяги (равнодействующая сила, действующая на сооружение).

Указания распространяются на стандартные пропульсивные устройства, а также варианты установки систем ДП или ТАМ для управления плавучими сооружениями, которые обеспечивают морские операции. Они включают в себя следующие установки:

- Открытые и закрытые соплами гребные винты, установленные в носовой части судового сооружения (стандартная компоновка с основным двигателем);

- Азимутальные, или фиксировано-направленные, соплые двигатели, установленные под днищем корпуса;

- Туннельные двигатели, установленные в поперечном туннеле в корпусе.

Предусмотрены два метода оценки тяги.

zz. Таблицы и рисунки для быстрой и приблизительной оценки, которая может использоваться для конструирования ТАМ и создания предварительной конструкции системы ДП.

aaa. Ссылки для более четкого определения имеющейся эффективной тяги, которые могут использоваться для создания окончательной конструкции системы ДП или ТАМ.

Расчетная имеющаяся эффективная тяга, как это определено в настоящем документе, должна быть далее уменьшена при определенных условиях, как это указано в п. 0. Основной объем материала по разрешенной тяге

взят из ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в то время, как в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, дается подробная фоновая информация по конструкции гребного винта и разрешенной тяге.

A.8.9.3.2 Оценка рабочих параметров

Рабочие характеристики стандартного гребного винта, предназначенного снабжать электропитанием сооружение при определенной скорости, в нормальных условиях выражается в виде производительности гребного винта. В ходе позиционирования, однако, гребной винт работает при нулевой скорости притока (или с очень низкой скоростью), и применение выражения «по производительности» невозможно. Популярное выражение по рабочим характеристикам гребного винта в режиме удержания представляет собой удельную тягу гребного винта на лошадиную силу.

Каждый гребной винт, предназначенный для удержания, создает максимальную тягу при нулевой скорости притока. Даже в случае постоянной работы на мощности (это возможно, например, с управляемыми гребными винтами с регулируемым шагом, или гребными винтами с фиксируемым шагом приводимыми в действие определенными первичными двигателями), тяга гребного винта уменьшается с увеличивающейся скоростью притока. Скорость притока обусловлена скоростью течения, движением сооружения, или струей другого пропульсивного устройства. Для анализа гребного винта системы позиционирования, максимальная тягой при нулевом притоке (или тяговое усилие на швартовых) будет считаться работа в ходе эталонных испытаний.

Чтобы определить имеющуюся эффективную тягу (или результирующее действие на сооружение), сначала должна быть вычислена тяга гребного винта при нулевой скорости притока. Тягу нужно скорректировать используя коэффициент засасывания. Эти коэффициенты обусловлены следующим:

- Геометрией монтажа и компоновкой гребного винта/двигателя;
- Скоростью притока к гребному винту;
- Направлением вращения гребного винта (вперед или назад).

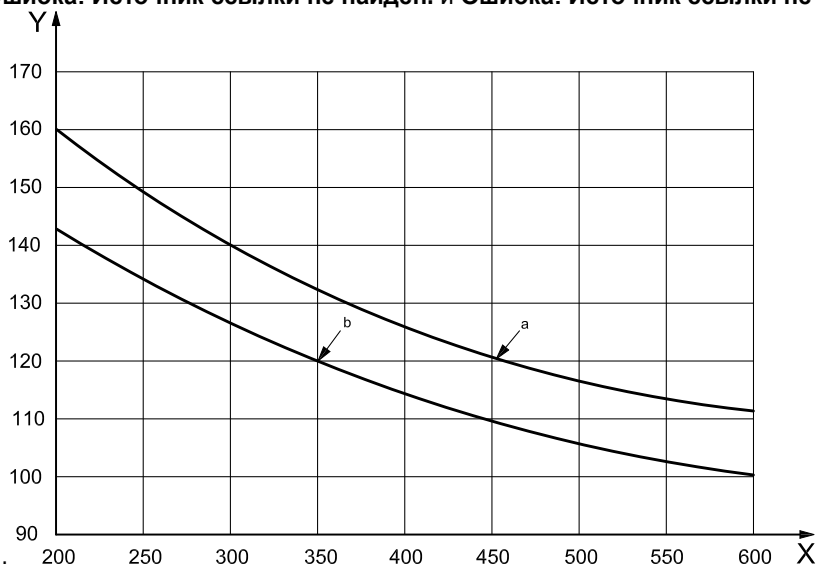
A.8.9.3.3 Тяга гребного винта при скорости нулевого притока

A.8.9.3.3.1 Открытые гребные винты

Рисунок A.10 можно использовать для быстрого определения тяги гребного винта при нулевой скорости для открытого винта. Необходимыми входными данными являются диаметр винта и приложенная мощность. На диаграмме ясно видно, что для указанной мощности тяга увеличивается с увеличением диаметра винта. На ней также видно, что для указанного винта удельная тяга повышается с уменьшением мощности на единицу площади винта. Подробная информация, а также данные по конструкции и вычислению параметров открытых винтов даны в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

A.8.9.3.3.2 Гребные винты, закрытые соплами

Рисунок A.11 позволяет быстро определить тягу винта при нулевой скорости для винта с соплом. Действуют те же факторы, что и для открытых винтов. Сравнение Рисунка A.10 и A.11 также указывает на значительное повышение тяги в винте с соплом по сравнению с открытым винтом того же диаметра и мощности. Подробная информация и данные по конструкции и вычислению рабочих параметров винтов с соплом приведены в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.



Обозначения

X мощность/площадь гребного винта, кВт/м²

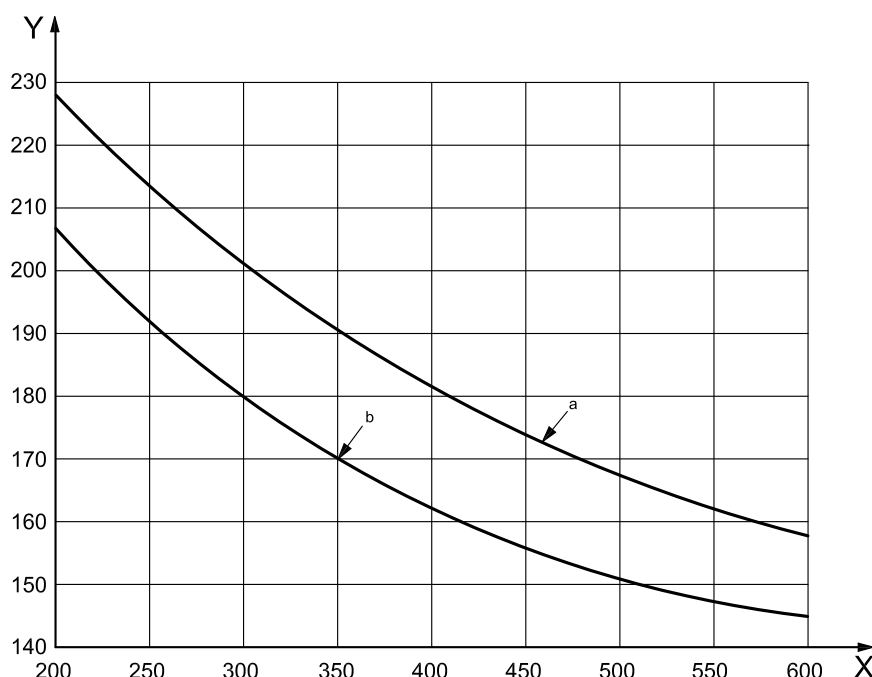
Y удельная тяга, Н/кВт

ПРИМЕЧАНИЕ Мощность, передаваемая на гребной винт на единицу площади винта.

a Оптимальное значение.

b Низкое значение.

Рисунок 10 — Тяга гребного винта – открытые гребные винты



Обозначения

X мощность/площадь гребного винта, кВт/м²

Y удельная тяга, Н/кВт

ПРИМЕЧАНИЕ Мощность, передаваемая на гребной винт на единицу площади винта.

a Оптимальное значение.

b Низкое значение.

Рисунок 11 — Тяга гребного винта – гребные винты с соплами

A.8.9.3.4 Вычисление уменьшения тяги

A.8.9.3.4.1 Гребные винты, установленные в задней части сооружения судового типа

Всасывание гребным винтом создает поле низкого давления вверх по восходящему потоку от винта, и приводит к уменьшению имеющейся тяги винта. При скорости нулевого притока и в ходе вращения вперед, это уменьшение составляет примерно 5 % от тяги винта. При работе в кормовой части уменьшение составляет 15 % - 20 %. Подробные данные по взаимодействию гребного винта/корпуса для стандартных судов приведены в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

A.8.9.3.4.2 Гребные винты движителей с ортогональной зубчатой передачей

Наличие кожуха передачи и поддерживающей стойки в потоке к винту вызывает уменьшение тяги. Для движителя с усредненной конструкцией это уменьшение тяги составляет примерно 10 %. В случаях, когда отношение зубчатой передачи к винту превышает 0,45, уменьшение тяги может составить 15 %.

A.8.9.3.4.3 Уменьшение тяги из-за скорости притока

Для гребного винта, используемого для позиционирования, работа винта при определенных скоростях притока обусловлена течениями, а также кильватерной струей, создаваемой движителями, работающими в непосредственной близости. В Таблице A.1 указаны примерные потери тяги, как функции скорости притока. Точный прогноз рабочих параметров туннельных или открытых гребных винтов при определенных скоростях притока возможен при детальном анализе, см. ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Информация по потерям тяги из-за перекрестного взаимодействия движителей приведена в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Таблица 9 — Поправочный коэффициент для скорости притока

Тип гребного винта	Скорость притока м/с			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Открытый винт	0,951	0,903	0,854	0,806
Винт с соплом	0,942	0,883	0,825	0,767

А.8.9.3.4.4 Потеря тяги из-за эффектов поперечных связей неортогонального притока

Работа гребного винта во входящем потоке, который входит иначе, чем параллельно оси гребного винта меняет рабочие характеристики. Потери тяги из-за скорости притока можно уменьшить. Однако, формирование поперечных воздействий может вызвать потерю от общего баланса воздействий. Направление этих воздействий является ортогональным по отношению к оси винта. Эти эффекты, по крайней мере, могут быть изучены при исследовании движущих сил для динамического позиционирования. Информация и качественные данные приведены в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.**

А.8.9.3.4.5 Тяга при реверсе

Некоторым из устройств, создающих тягу, применяемую для динамического позиционирования, требуется обратное движение винта для создания тяги в обратном направлении. Азимутальные подруливающие устройства, как правило, создают тягу лишь в одном направлении. Они управляют направлением тяги за счет управления азимутальным углом.

Некоторые подруливающие устройства, такие, как туннельные движители или движители с фиксированным направлением и соплами, сконструированы, как двунаправленные устройства и способны создавать примерно равную тягу в обоих направлениях. Винты оптимизированы для работы в одном направлении (большинство морских гребных винтов) и подвержены большим потерям тяги при работе в обратном (реверсивном) режиме. В Таблице А.2 приведены значения для потерь тяги винтов с соплами из ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 10 — Потери тяги при реверсе

Тип сопла	Потеря %
Симметричное сопло	5 - 10
Несимметричное сопло, эллиптические лопасти	10 - 25
Несимметричное сопло, лопасть с вогнутым основанием	25 - 50

А.8.9.3.4.6 Потеря тяги из-за взаимодействия гребного винта/корпуса

bbb. Эффект Коанды

Попутная струя с высокой скоростью от подруливающего устройства, смонтированного под днищем сооружения, может создавать зоны низкого давления на корпусе, которые приводят к значительным потерям имеющейся тяги. Величина указанных потерь зависит от места установки винта по отношению к геометрической оси корпуса, расстояния от винта до корпуса, радиуса днища, и осадки сооружения. Поправочный коэффициент от 5 % до 15 % используется для учета указанного взаимодействия корпуса. Информация и данные по потерям тяги из-за взаимодействия гребного винта/корпуса приведены в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

ссс. Взаимодействие двойного корпуса

Этот эффект возникает с двухкорпусными полупогружными платформами, имеющими роторный стол, с подруливающими устройствами, установленными под корпусом. При определенных значениях азимутального угла струя от винта направлена на соседний корпус, вызывая сопротивление в направлении, противоположном направлению тяги. Этот эффект может усиливаться вышеуказанным эффектом Коанды. Имеются некоторые данные по этим эффектам. Величина потерь тяги зависит от геометрии установки движителя и конфигурации полупогружных корпусов. Меры противодействия (которые также действуют на эффект Коанды) включают в себя горизонтальный наклон оси винта вниз, или установку направляющих лопаток на выходе из сопла. Оба метода отклоняют струю винта от соседнего корпуса. Было отмечено 10 % - 15 % падение тяги из-вышеуказанного явления, с максимальной потерей более 50 % в некоторых положениях, и в крайне неблагоприятных условиях **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

А.8.9.3.5 Рабочие характеристики туннельных движителей

А.8.9.3.5.1 Общие положения

Несмотря на некоторое сходство туннельные движители во многом отличаются от других пропульсивных устройств. С аналитической точки зрения они рассматриваются в качестве осевых насосов. Как и в ситуации с морскими гребными винтами, тяга увеличивается с уменьшением мощности на единицу площади винта. Большой диаметр винта создает большую тягу при указанной мощности. Туннельный движитель подвержен потере тяги за счет факторов, типичных для осевых насосов. Основными причинами уменьшения результирующего выхода являются ограничения потока по направлению к/из рабочего колеса, а также потери на входе и выходе из туннеля.

А.8.9.3.5.2 Поперечные силы туннельных движителей

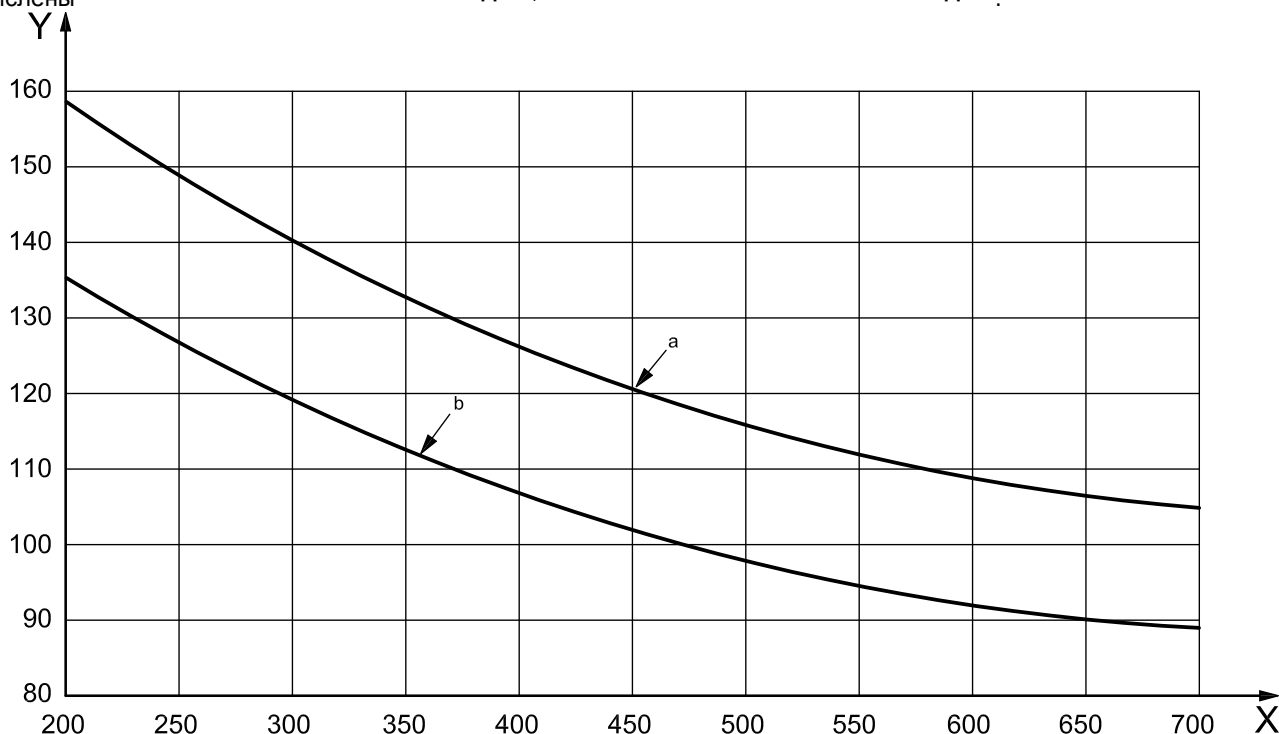
Рисунок А.12 может использоваться для быстрого определения поперечного воздействия туннельного движителя, и предполагается оптимальная геометрия монтажа. Длина туннеля почти в два раза больше диаметра винта. Корпус расположен перпендикулярно выходам туннеля. Выходы имеют коническую форму. Никакие защитные полосы не ограничивают концов туннеля. Потери при взаимодействии рабочего

колеса/корпуса учтены.

A.8.9.3.5.3 Потери тяги туннельных движителей

В дополнение к потерям тяги из-за геометрии монтажа, которые, как правило, отождествляются с туннельными движителями, могут возникнуть дополнительные потери при определенных условиях эксплуатации. Прогнозирование рабочих параметров туннельного движителя основано на номинальной расчетной погруженности туннеля. Если это подводное положение повышается из-за уменьшения осадки, или из-за движений сооружения, то рабочее колесо движителя будет подавать воздух и/или кавитировать. Оба события приведут к уменьшению тяги рабочего колеса.

Аналитическое определение потерь из-за движений сооружения является сложным. Сначала должен быть выполнен относительный анализ движения для природных условий, в которых предполагается эксплуатировать сооружение. На основе этих данных, а именно периодических изменений подводного положения на участке туннеля, потери тяги при работе рабочего колеса при уменьшенной погруженности могут быть вычислены.



Обозначения

X мощность/площадь гребного винта, кВт/м²

Y удельная тяга, Н/кВт

ПРИМЕЧАНИЕ Мощность передаваемая на гребной винт на единицу площади винта..

a Оптимальное значение.

b Низкое значение.

Рисунок 12 — Поперечная сила — туннельные движители

A.8.9.4 Распределение нагрузки

Указания отсутствуют.

A.8.10 Анализ переходных процессов движений плавучего сооружения

Анализ переходных процессов способен определять, когда усредненные действия и смещения преобладают над откликом плавучего сооружения.

A.9 Усталостный анализ

A.9.1 Основные факторы

Настоящий альтернативный подход S-N для определения усталостной прочности стальных тросов, цепей, соединительных звеньев и канатов из синтетических волокон представлен в работе DNV POSMOOR. Источник ссылки не найден. и обобщен в последующих подпунктах. За исключением мест, где об этом четко заявлено, положения Статьи Источника ссылки не найден. в равной мере относятся и к методу S-N.

Диапазоны номинального напряжения, S (в мегапаскалях), вычисляются путем деления соответствующего диапазона напряжения на номинальную площадь поперечного сечения компонента, в квадратных метрах, т.е.

$$\frac{2\pi d^2}{4} \quad - \text{ для цепи}$$

$$\frac{\pi d^2}{4} \quad (A.12)$$

Где: d – диаметр компонента, в метрах (м). Для цепи, d – диаметр арматурного прутка, из которого изготавливается звено цепи. ~~для стального троса~~ – это наружный диаметр проволоки.

Связь между диапазоном напряжения (двойная амплитуда) S , и количеством допустимых циклов, N , диапазона напряжения S , придерживается идентичного формата взаимосвязи T-N, приведенной в Уравнении (12), т.е. уравнение для репрезентативной кривой S-N будет иметь вид:

$$N S^m = K \quad (A.14)$$

Значения m и K даны в Таблице A.3 для выбора звена цепи, соединительного звена и компонентов стального троса в морской воде.

Таблица 11 — Значения m и K для репрезентативных кривых S-N Ошибка! Источник ссылки не найден.

Компонент	m	K
Цепь с контрфорсами	3,0	$1,2 \times 10^{11}$
Цепь без контрфорсов (открытое звено)	3,0	$6,0 \times 10^{10}$
Шести/многожильный стальной трос (с защитой от коррозии)	4,0	$3,4 \times 10^{14}$
Спиральный скрученный многожильный трос (с защитой от коррозии)	4,8	$1,7 \times 10^{17}$

Допускается использовать данные испытаний для специального типа компонента якорной линии в конструкции. Затем используется линейный регрессивный анализ для построения кривой S-N с расчетной кривой, расположенной, по крайней мере, два стандартных отклонения ниже средней линии. В случае испытаний цепи в воздухе, эффект морской воды должен учитываться за счет снижения усталостной прочности на 2,0 для цепи с контрфорсом, и с коэффициентом 5,0 для цепи без контрфорса.

Следует помнить, что рекомендованный коэффициент уменьшения для цепи с контрфорсом применим лишь тогда, когда контрфорс отлично подогнан в звене цепи. Усталостная прочность звена цепи с контрфорсом очень чувствительна к вариациям в зависимости от затяжки контрфорса. Когда контрфорс ослабевает, то сценарий распределения напряжения полностью меняется, и это может привести к значительному снижению срока наступления усталости. Этих проблем можно избежать, если использовать цепь без контрфорса.

Коэффициент запаса усталостной прочности γ_F для метода S-N в соответствии с 11.5, составляет:

$$\gamma_F = 5,0 \quad \text{когда } D_F \leq 0,8 \quad (A.15)$$

$$\gamma_F = 5,0 + 3,0 (D_F - 0,8)/0,2 \quad \text{когда } D_F > 0,8 \quad (A.16)$$

Где D_F представляет собой сопредельное отношение усталостного разрушения, которое является отношением между репрезентативным усталостным разрушением D на двух соседних линиях, взятых как меньшее разрушение, деленное на большее разрушение, ($D_F \leq 1,0$).

Коэффициенты безопасности, определение которых приведено выше, предназначены, чтобы разрешить использование сгруппированных линий, при этом обеспечивая приемлемый уровень безопасности. Более подробная информация дана в DNV DEEPMOOR Ошибка! Источник ссылки не найден.

Для долговременных систем позиционирования коэффициенты концентрации напряжений из-за изгиба звеньев цепи на направляющих блоках, гибочных башмаках, направляющих трубах и подкладках должны все учитываться в усталостном анализе.

A.9.2 Усталостная прочность

A.9.2.1 Стальной трос, цепь и соединительные звенья

Указания отсутствуют.

A.9.2.2 Кривые T-N

Рекомендуемые кривые T-N основаны на положениях API RP 2SK Ошибка! Источник ссылки не найден. и ссылке Ошибка! Источник ссылки не найден..

Цепь R3 прочнее, чем цепь марки ORQ того же размера на коэффициент 1,057. Минимальная нагрузка на разрыв (MBS) цепи марки ORQ определяется следующим образом:

$$MBS \text{ (в килоньютонах)} = 0,0211 d^2 (44 - 0,08d) \quad (A.17)$$

Где: d - номинальный диаметр цепи, в миллиметрах (мм).

Там, где требуются смычки, то долговременные швартовые (LTM) смычки, включая соответствующие коэффициенты концентрации напряжения, являются предпочтительными по сравнению с разъемными скобами якорной цепи Кентера, грушеобразными звеньями, С-звеньями и D-скобами, которые использовать не следует.

Последние исследования свидетельствуют о том, что среднее натяжение оказывает значительное влияние

на срок наступления усталости канатов, и поэтому должен быть включен в уравнения расчетных кривых. Среднее натяжение 0,3 MBS считается репрезентативным для стандартных систем позиционирования. Для усталостного анализа стальных тросов могут рассматриваться следующие методы, учитывающие эффект среднего натяжения.

ddd. Для каждого состояния моря определить среднее натяжение и соответствующую расчетную кривую, которая затем используется для вычисления усталостного разрушения для этого состояния моря. Это подразумевает, что различные расчетные кривые используются для различных состояний моря.

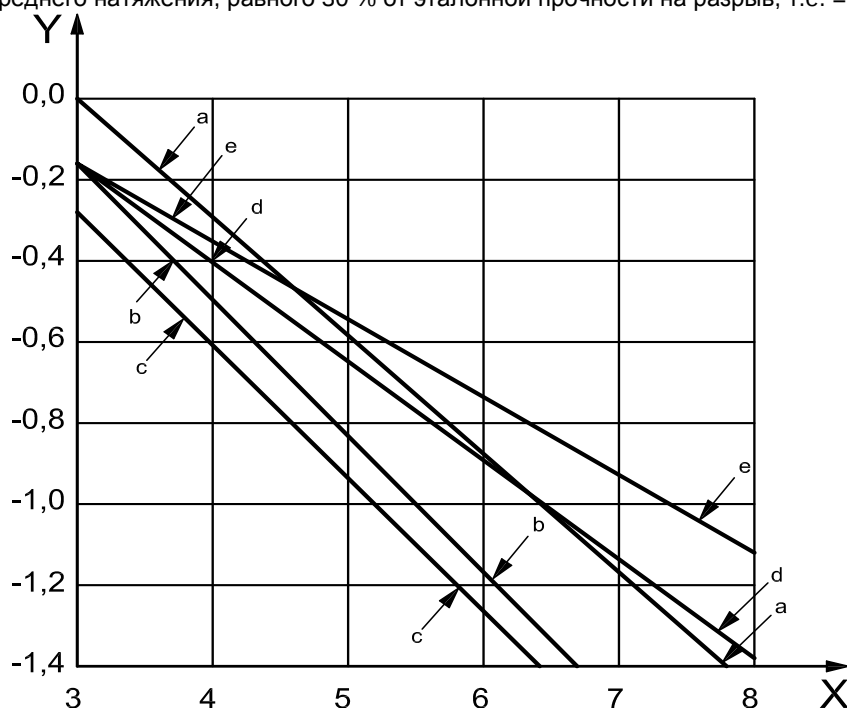
eee. Определить среднее натяжение для состояний моря, вызывающих сильное усталостное разрушение, и использовать расчетную кривую для среднего натяжения для всех состояний моря.

fff. Использовать расчетную кривую для среднего натяжения 0,3 MBS для стандартных систем позиционирования.

Среди трех указанных методов, ddd является наиболее точным, но требует больше вычислений. Если используются eee или fff, то должно быть проведено исследование чувствительности для обеспечения того, что эти упрощенные подходы дают консервативные прогнозы.

Кривые T-N для стальных тросов основаны на данных испытаний из ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

На Рисунке A.13 представлены усталостные расчетные кривые T-N для цепи, соединительных звеньев, шести/многожильных стальных тросов, и спиральных скрученных тросов. Две кривые для стальных тросов предназначены для среднего натяжения, равного 30 % от эталонной прочности на разрыв, т.е. = 30 % от MBS.



Обозначения

X $\log_{10}$ (число циклов)

Y $\log_{10}$ (диапазон натяжения/эталонная прочность на разрыв)

a Цепь, с контрфорсом.

b Цепь, без контрфорса.

c соединительное звено Кентера.

d Шести/многожильный трос, средняя нагрузка 30 % MBS.

e Спиральный многожильный трос, средняя нагрузка 30 % MBS.

Рисунок 13 — Усталостные расчетные кривые для цепи, соединительные звенья и стальной трос

A.9.2.3 Усталость типа «натяжение-натяжение» (T-T)

Указания отсутствуют.

A.9.2.4 «Изгиб –натяжение» (B-T) и усталость при свободном изгибе

Данные усталости цепи и троса «изгиб-натяжение» недостаточны для построения расчетных кривых. При отсутствии расчетных данных по усталости, необходимо принять профилактические меры, чтобы избежать отказа позиционирования из-за усталости «изгиб-натяжение». Например, отношение диаметра изгиба к диаметру троса должно быть существенным, чтобы избежать чрезмерного изгиба, см. Таблицу A.4.

Таблица 12 — Информация по сроку наступления усталости «изгиб-натяжение» по сравнению со сроком наступления усталости «натяжение-натяжение»

Тип стального троса	Диаметр изгиба +диаметр троса (отношение)	Срок наступления усталости В-Т / Срок наступления усталости Т-Т %
6-жильный	20	3
	70	8
Многожильный	20	5
	70	15
Спиральный	20	0,5
	70	1,5

Часть якорной линии, которая находится в непосредственном контакте с направляющим блоком, должна регулярно осматриваться. Этот участок должен периодически сдвигаться, чтобы избежать постоянного изгибания в одном месте. Данные на основе исследования по сопоставлению сроков наступления усталости якорных линий в вариантах «изгиб-натяжение» и «натяжение – натяжение» на полупогружных платформах в стандартных условиях Северного моря приведены в Таблице А.4. Эта информация содержит эталонные значения по определению политики в сфере эксплуатации, чтобы не допустить чрезмерной усталости от изгиба-натяжения применительно к стальным тросам. Из-за сложностей, связанных с усталостным состоянием В-Т, информация, приведенная в Таблице А.4, должна обрабатываться с осторожностью, и коэффициент запаса усталостной прочности в п.11.5 должен быть увеличен соответственно.

В отношении изгибания-натяжения цепи участок якорной линии, находящийся в непосредственном контакте с направляющим блоком, также должен регулярно осматриваться и передвигаться, чтобы избежать постоянного изгиба на одном участке. В целом, наихудший вариант нагрузки заключается в наличии горизонтального звена, подверженного изгибанию-натяжению над неглубокой канавкой. Это часто приводит к очень сильному напряжению на участке сварного шва контрфорса. Поэтому, направляющие должны иметь форму и размер, чтобы не допустить этот тип нежелательного изгиба звеньев цепи. Испытания цепей с ограниченной усталостью Т-Н с направляющими блоками с пятью углублениями указывают усталостный ресурс 5 % - 20 % для изгиба-натяжения по сравнению с усталостным ресурсом Т-Т. Конструкция направляющего блока с семью углублениями, как правило, обеспечивает значительно больший усталостный ресурс В-Т.

А.9.3 Процедура усталостного анализа

А.9.3.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

А.9.3.2 Совокупное усталостное разрушение

Указания отсутствуют.

А.9.3.3 Оценка усталостного разрушения

А.9.3.3.1 Общие положения

В случае, когда n следует распределению Рэйли, а кривая Т-Н согласуется с формой Уравнения (12), годовое усталостное разрушение, накопленное в отдельном расчётном состоянии позиционирования MDS, может быть вычислено следующим образом:

$$D_i = \frac{n_i}{K} E(T^m) K_i \quad (\text{A.18})$$

Где:

n_j - количество циклов, связанное с MDS_j, лет⁻¹;

$E(..)$ - расчетное значение;

T , m и K как это определено в 10.2.2.

А.9.3.3.2 Вычисление диапазона натяжения

Указания отсутствуют

А.9.3.3.3 Объединение низкочастотного натяжения и натяжения на частоте волны

Основа для сдвоенного узкополосного поправочного коэффициента п. 10.3.3.3.4 обсуждается в ссылке

Ошибка! Источник ссылки не найден..

Подсчет циклов для усталостного анализа, включая метод «дождя», описан в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

На Рисунке А.14 представлено усталостное разрушение, D , при неподвижном состоянии моря, вычисленные с использованием алгоритмы учета циклов,

ggg. Простое суммирование,

hhh. Комбинированный спектр, и

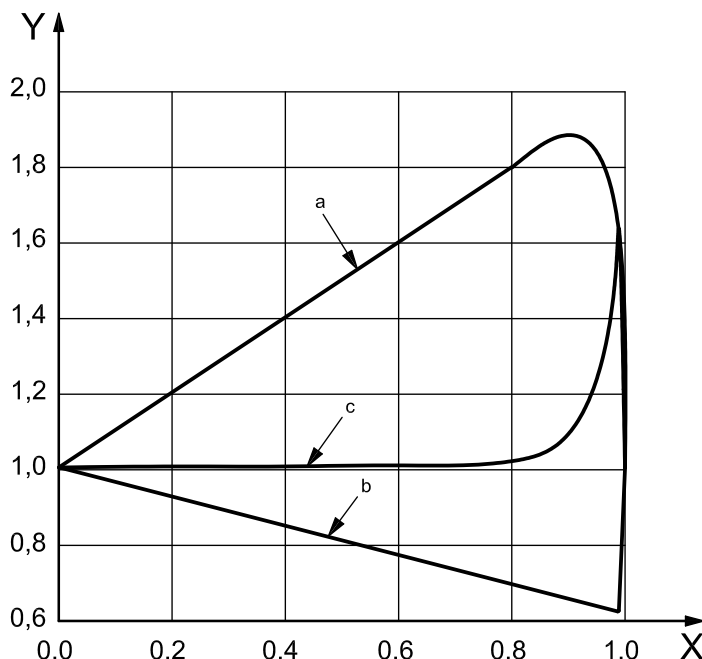
iii. Сдвоенный узкополосный спектр,

По сравнению с разрушением, D_{ffc} , на основе метода «дождя».

Вычисленное отношение усталостного разрушения D/D_{ffc} приведено на Рисунке А.14, как функция $\square_{Lj}$, и как это определено в Уравнении (21).

Эти результаты были получены с помощью усталостной кривой Т-Н где $m = 3,0$, а также коэффициента,

равного 10 между средним периодом перехода через ноль вариаций натяжения в расчетном состоянии позиционирования MDS, вследствие низкочастотного возбуждения и возбуждения на частоте волны, соответственно.



Обозначения

X λ_{Lj} , см. Уравнение (21)

Y Отношение усталостного разрушения, D/D_{rfc}

a Комбинированный спектр.

b Простое суммирование.

c Сдвоенный, узкополосный.

Рисунок 14 — Отношение усталостного разрушения с различными алгоритмами подсчета циклов

A.9.3.3.4 Учет средних значений натяжения стального троса

См. A.9.2.2.

A.10 Расчетные критерии

A.10.1 Смещение плавучего сооружения

A.10.1.1 Операции бурения

Среднее смещение должно контролироваться в условиях проведения буровых операций, поскольку они важны для среднего угла наклона гибкой муфты/шарового шарнира бурового райзера. Допустимое среднее смещение должно определяться путем анализа бурового райзера. Среднее смещение зависит от многих факторов, таких как глубина моря, природные условия и система райзеров.

Максимальное смещение в ходе операций бурения должно быть ограничено предотвращением разрушения механического стопора гибкой муфты/шарового шарнира ниже бурового райзера. Допустимое максимальное смещение должно определяться в результате анализа бурового райзера.

Дополнительную информацию см. в API RP 16Q **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.10.1.2 Операции добычи

Существует четыре типа добычных райзеров:

jjj. Жесткий райзер,

kkk. Гибкий райзер,

lll. Гибридный райзер, и

mmm. Райзер объединенный с одноточечной швартовкой.

Жесткие райзеры натягиваются с помощью плавучего сооружения, и могут быть либо встраиваемые, или невстраиваемые. Встраиваемый райзер с натягиваемой верхней частью является многоствольным райзером, в котором все соединительные элементы для жидкостей выполняются с одиночными замковыми соединениями. Невстраиваемые райзеры с натягиваемой верхней частью состоят из отдельных труб с отдельными соединителями для каждой линии тока флюидов. Гибкий райзер состоит из гибких труб, которые подвешены на цепях к FPS, и спускаются до морского дна. Жесткие и гибкие райзеры могут комбинироваться в гибридные эксплуатационные райзеры. Гибридный райзер состоит из держащегося на поверхности стояка жесткого райзера, который оканчивается в точке ниже водной поверхности. Гибкие райзеры перекрывают зазор между верхней частью жесткого райзера и плавучим сооружением. Четвертый тип эксплуатационного райзера включает устройства, которые объединяют эксплуатационные райзеры с одноточечными причальными устройствами,

такими как CALM или система SALM.

Ограничения по смещению плавучих сооружений для таких расчетных ситуаций, как ULS и SLS должны определяться в результате анализа эксплуатационного райзера вместе с анализом позиционирования. Максимально допустимые смещения для жестких райзеров, обычно, находятся в диапазоне 8 % - 12 % от глубины моря. Это ограничение смещения часто требует, чтобы жесткие эксплуатационные райзеры отсоединялись во время сильных штормов.

Максимально допустимые смещения для глубоководных гибких райзеров, обычно, находятся в пределах 10 % - 15 % от глубины моря в зависимости от конфигурации райзера. Максимально допустимые смещения для мелководных гибких райзеров обычно находятся в пределах 15 % - 30 % глубины моря. Гибкие райзеры. Обычно, предназначены для поддержания максимальных условий проектирования, сохраняя соединение с плавучим сооружением.

A.10.1.3 Вспомогательные операции

Смещения для сооружений, пришвартованных в непосредственной близости от других сооружений, ограничены требованиями к величине зазоров. Смещения при неизменных условиях, контроля по избыточности и переходных условий должны быть ограничены, чтобы не допустить контакт сооружения, или его системы позиционирования, с расположенной поблизости установкой.

A.10.2 Ограничение натяжения линии

Критерии, указанные в Таблице 5, относятся к ULS и к SLS. Это отход от прежней практики, когда меньшее ограничение натяжения предлагалось для предельного состояния SLS. Такой отход можно объяснить следующим образом.

— Для операций, таких как бурение и внутрискважинные работы, где максимальные условия эксплуатации значительно ниже чем расчетная ситуация ULS, величину натяжения надо проверять только для расчетной ситуации ULS. Если выполнены критерии ULS, натяжение не является проблемой при более мягких максимальных условиях эксплуатации.

— Для таких операций, как некоторые плавучие добычные операции, в которых добыча продолжается в расчетной ситуации ULS, расчетные ситуации ULS и SLS одинаковы, и должны использоваться одинаковые критерии натяжения.

A.10.3 Длина участка линии, заглубленной в грунт

Следует отметить, что недостаточная длина линии может спровоцировать воздействия на якоря в вертикальном направлении.

A.10.4 Анкерные устройства

A.10.4.1 Общие положения

Конструкция анкерных устройств должна обеспечивать, чтобы допустимые ограничения по напряжению, перемещению и усталости в якоря, а также циклическое понижение окружающего грунта не были превышены в ходе и после установки. Анкерные устройства выше дна моря должны включать средства осмотра и техобслуживания. Объем инспектирования, сроки инспектирования, и техобслуживания должны быть адекватны критериям избыточности по отношению к общей промышленной безопасности и рабочим параметрам.

Ряд аспектов конструкции и монтажа для забивных свай, вакуумных свай и якорных плит, все из которых способны противостоять вертикальным силам, изложены в A.10.4.3 и A.10.4.4. Эти аспекты включают оценку способности якоря, проектирование конструкций, изготовление, погрузку/разгрузку и транспортировку, монтаж, а также испытание на разрыв.

Некоторые технологические аспекты конструкции вакуумных свай и якорных плит все еще находятся в стадии разработки. Специальные и подробные рекомендации приведены в настоящем приложении в том объеме, который имеется на настоящий момент. Общие положения также используются для того, чтобы обратить внимание на некоторые специальные аспекты, а для получения дополнительной информации даны ссылки. Рекомендации по конструкции и установке якорных плит в глину приведены в ссылке [34].

A.10.4.2 Якоря, заглубляемые протаскиванием

A.10.4.2.1 Общие положения

Якоря, заглубляемые протаскиванием, в основном, используются для передвижных систем позиционирования, в таких случаях, расчетный коэффициент надежности для якорей значительно ниже, чем для натяжения линий. Это объясняется тем, что якорю дается возможность перемещаться вместо разрыва якорной линии в случае перегрузки. Перемещения якорей на наиболее сильных нагруженных оттяжках в нормальных условиях вызывает благоприятное перераспределение натяжения линий. Ожидается, что это поможет системе позиционирования выдержать природные воздействия, которые превышают воздействия в расчетной ситуации ULS.

Оценка удерживающей способности якоря обсуждается в этом подпункте и в DNV-RP-E301[33].

Технология якорей, врезающихся в грунт значительно совершенствовалась за последние годы. Проектирование и испытания свидетельствуют о том, что новое поколение якорей, врезающихся в грунт с неподвижными лапами обладает высокой удерживающей способностью даже в мягких грунтах. Высокоэффективный якорь, врезающийся в грунт, считается привлекательным вариантом для позиционирования, поскольку легко устанавливается и имеет хорошие эксплуатационные параметры. Участок установки якоря на оттяжке может быть предварительно смонтирован и испытан еще до установки плавучего сооружения.

Удерживающая способность якоря, заглубляемого протаскиванием, в условиях конкретного грунта представляет максимальное горизонтальное постоянное тяговое усилие, которому якорь может противостоять.

Это включает в себя сопротивление цепи или стальному тросу в грунте, которое оказывает врезавшийся в грунт якорь, однако исключает трение цепи или стального троса о морское дно.

Удерживающаяся способность якоря, заглубляемого протаскиванием, является функцией нескольких факторов, включая следующее:

— Тип якоря: площадь лап, угол расположения лап, форма лап, вес якоря, приливы для разворота лап якоря, стабилизаторы, и т.д. На Рисунке А.15 показаны якоря, заглубляемые протаскиванием, которые, обычно, используются в морских операциях в нефтегазовой отрасли.

— Поведение якоря при развертывании: открытие лап, проникновение лап, глубина заглубления якоря, устойчивость якоря при волочении, поведение грунта на лапах, и т.д.

Более того, может потребоваться большое расстояние волочения якоря прежде, чем он полностью проникнет в грунт и наберет полную удерживающую способность. Это может быть приемлемо для заякоривания буровой установки в местах с открытой водой, но, скорее всего, не подойдет для площадки, где будет организована добыча, и где на морском дне имеются подводные сооружения.

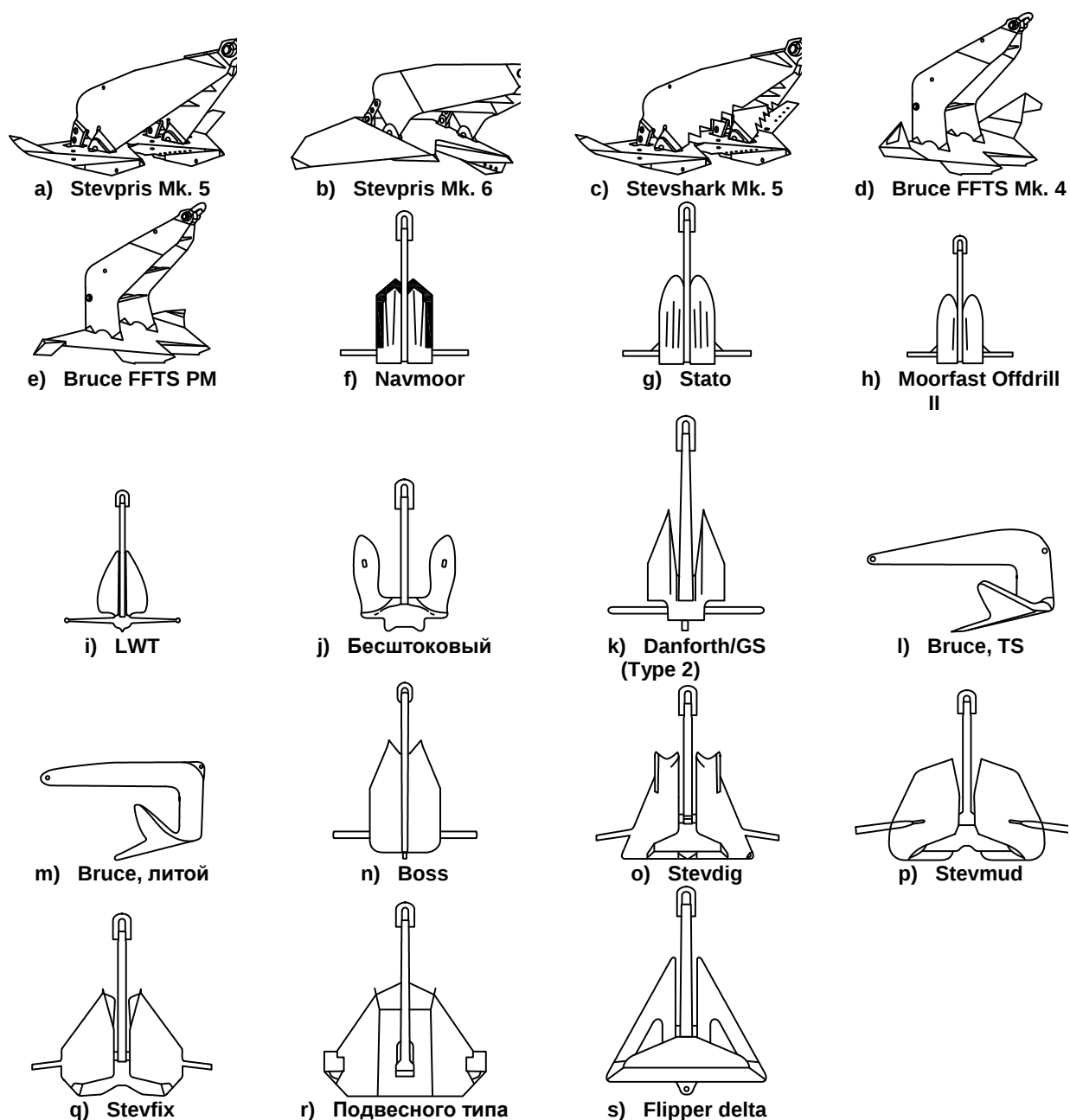
Из-за большого разнообразия таких факторов прогнозирование удерживающей способности якорей затруднено. Точно определить удерживающую способность можно после установки якоря и прикладывания испытательной нагрузки.

Если возможно, то должны быть получены данные по рабочим параметрам якоря для якоря конкретного типа и почвенных условий. При отсутствии достоверных данных по параметрам якоря, могут использоваться Рисунки А.17 и А.18 для оценки удерживающей способности якорей, обычно используемых для позиционирования плавучих судов. Следует помнить, что кривые удерживающей способности на Рисунках А.17 и А.18 не включают в себя расчетный коэффициент надежности.

Рисунки А.17 и А.18 воспроизводятся из ссылки [12], за исключением того, что кривые удерживающей способности для якорей Moorfast (или Offdrill II), а также Stevpris были улучшены. Улучшение этих двух кривых было сделано на основе данных моделирования и полевых испытаний. а также полевого опыта, полученного за последние годы. Расчетные кривые, изображенные на этих двух рисунках, представляют, в общем, нижние границы данных по испытаниям. Испытания, использованные для построения кривых, были проведены на ограниченном количестве площадок. В результате, кривые могут использоваться применительно к типичным грунтам, таким как мягкая глина (т.е., в нормальных условиях плотная глина с недренированным сдвигающим напряжением, однообразно повышающимся с глубиной) и песок.

Недавние исследования свидетельствуют, однако, что некоторые параметры, такие как профиль прочности грунта, тип лопа (стальной трос по сравнению с цепью), циклические действия, а также погружение якоря могут значительно повлиять на рабочие параметры якоря в мягкой глине. Также, некоторые высокоэффективные якоря показали существенное сопротивление вертикальным действиям в мягкой глине. Более того, имеются новые модели высокоэффективных якорей, которые не изображены на Рисунках А.17 и А.18, подробная информация о которых приведены в последующих пунктах.

Поскольку на Рисунках А.17 и А.18 лишь демонстрируются оценки удерживающей способности, то более подробный анализ необходим в случае, если неконтролируемое волочение якоря недопустимо в загроможденных местах под водой, где это может вызвать повреждение имеющихся подводных установок. Если нецелесообразно использовать натяжение сооружения, которое требуется для полного прекращения волочения якоря, то может потребоваться продемонстрировать, что масштаб волочения якоря, которое может возникнуть, не приведет к столкновению с имеющимися подводными установками на этом участке.



ПРИМЕЧАНИЕ: Якоря, названные здесь, представляют собой примеры пригодных продуктов, которые можно приобрести на коммерческой основе. Эта информация предоставляется для удобства пользователей этой части ISO 19901, и не является продвижением со стороны ISO этих коммерческих продуктов.

Рисунок 15 — Якоря, заглубляемые протаскиванием

А.10.4.2.2 Эффект градиента сдвигающего напряжения в глине

Данные центрифугирования, а также результаты аналитических исследований с использованием калиброванного инструмента прогнозирования врезания в грунт якоря, показывают существование более или менее линейной зависимости между удерживающей способностью якоря и градиентом сдвигающего напряжения глины [105]. Тем не менее, существенные отклонения от этой линейной зависимости наблюдаются в случаях, когда сдвигающее напряжение улавливается морским дном и/или варьирует чувствительность глины помимо градиента сдвигающего напряжения. В целом, влияние различных параметров на удерживающую способность якоря в глине обостряется с возрастающей степенью мобилизации способности якоря. Конечно, эта зависимость также варьируется в зависимости от типа и размера якоря.

Из-за сложности проблемы надежный калиброванный инструмент прогнозирования, который может учесть все влияющие параметры, должен использоваться для определения основ проектирования якорей, врезающихся в грунт (см. ссылку [153]).

А.10.4.2.3 Эффект типа ходового конца в глине

Полевые испытания и аналитические исследования показывают, что в мягкой глине, когда ходовой конец представляет собой стальной трос, якорь может вонзаться глубже и обеспечивать более высокую удерживающую способность, чем когда в качестве ходового конца используется цепь. Применительно к ограниченному числу исследованных случаев якорь, соединенный со стальным тросом, обеспечивал удерживающую способность на 15 % - 40 % выше, чем тот же якорь, подсоединенный к цепи. Это хорошо согласуется с результатами полномасштабной программы испытаний. Следует отметить, что исследования были ограничены высокоскоростными якорями в мягкой глине с постоянным градиентом сдвигающего напряжения. Побочным эффектом является то, что необходимое натяжение якоря при монтаже достигалось с меньшим волочением, если стальной трос использовался в качестве ходового конца вместо цепи.

А.10.4.2.4 Эффект циклического нагружения в глине

Циклическое нагружение действует на статическое недренированное сдвигающее напряжение (s_u) двумя способами:

— При шторме время нарастания от средней до пиковой нагрузки может составлять 3 - 5 с ($1/4$ от цикла натяжения на частоте волны), по сравнению с 0.5 – 2 ч в статических уплотненном недренированном трехосевом испытании, и это более высокая скорость нагружения приводит к увеличению недренированного сдвигающего напряжения, как следствие, удерживающей способности якоря;

— В результате повторяющегося циклического нагружения при шторме недренированное сдвигающее напряжение уменьшается; увеличивается эффект понижения поверхности с увеличением степени переуплотнения глины.

Циклическое сдвигающее напряжение учитывает оба этих эффекта.

Дополнительная информация по прогнозированию эффектов циклического нагружения приведена в DNV-RP-E301 [33], DNV-RP-E302 [34], а также в Andersen and Lauritzen [101]. Дальнейшее развитие этих эффектов дано в DNV-RP-E303 [104].

А.10.4.2.5 Эффект погружения якоря в глину

Временное уменьшение сопротивления грунта сдвигу из-за тиксотропии может привести к существенному увеличению удерживающей способности якоря через несколько часов, или дней после установки, см. например, результаты временной остановки работ в ходе проведения полевых инструментальных испытаний, описанных в Dahlberg and Strøm [146]. В течение последующих недель сопротивление грунта сдвигу из-за тиксотропии в сочетании с уплотнением почвы (рассеивание избыточного давления воды в порах) временно уменьшилось по нарастающей.

В целом, якоря, заглубляемые протаскиванием, поэтому должны устанавливаться без остановки. Временная остановка перед достижением предусмотренного натяжения при монтаже может предотвратить дальнейшее погружение якоря, если повысившееся натяжение, которое было нужно было возобновления работ по установке якоря, выше тянущего усилия, которое можно обеспечить монтажным оборудованием. Последствия таковы, что долговременная способность якоря уже не будет превышать ту, которая была обеспечена натяжением монтажа начального шага плюс увеличение из-за эффектов после монтажа (тиксотропия/уплотнение и циклические эффекты нагружения). С другой стороны как только начинается волочение якоря после периода уменьшения сопротивления грунта сдвигу, то этот эффект полностью исчезает.

В расчетной ситуации, в которой натяжение при установке якоря предназначено обеспечить позиционирования плавучего сооружения без волочения якоря, должен использоваться коэффициент безопасности в отношении прогнозируемых эффектов после установки (уменьшение сопротивления грунта сдвигу и циклическое нагружение) и адекватная общая граница безопасности должна учитываться, чтобы определить натяжение при установке, которое отвечает такому требованию при проектировании. В этом случае эффект уменьшения сопротивления грунта сдвигу может представлять существенный вклад в общую удерживающую способность, которая должна, тем не менее, может быть уменьшена для глубин проникновения якоря, которые меньше 2,5 –кратной ширины лап и быть установлена на ноль, если величина заглубления в грунт слишком незначительная (см. дальнейшее обсуждение в DNV-RP-E301 [33]).

А.10.4.2.6 Способность в глине под нагрузкой от наклоненной линии

Для глубже погружаемых в грунт якорей ($>2 - 2.5$ ширины лапы) допустимый угол подъема на морском дне для неизменного предельного состояния ULS, или контроля по избыточности, может быть установлен для значений вплоть до 20° , если проведен надлежащий анализ установки якоря, который показал, что угол подъема на морском дне существенно меньше, чем угол подъема на проушине якоря.

Не рекомендуется использовать большой угол подъема на морском дне при начальном неглубоком проникновении якоря; иначе не будет достигнута полная глубина проникновения якоря. После достижения глубины проникновения $>2 - 2.5$ ширины лап якоря угол подъема линии на дне можно постепенно увеличивать. Более подробно этот аспект обсуждается в ссылке [33].

Имеются достаточные свидетельства в пользу применения ненулевого угла подъема на морском дне для якорей, врезающихся в грунт, которые проникают на достаточную глубину в мягкую глину. В этой связи ниже приведены дополнительные указания:

а) Углы подъема на морском дне не должны приниматься для конкретных операций с подвижными системами позиционирования, где почвенные условия не были тщательно исследованы, либо натяжение при установке якоря было недостаточным, чтобы обеспечить глубокое проникновение якоря.

б) Максимальный угол подъема на морском дне должен быть определен в соответствии с принципами, указанными выше, в расчетных ситуациях для состояния ULS неизменного и контроля по избыточности.

с) Нулевой угол подъема должен сохраняться пока не будет достигнута рекомендуемая минимальная глубина проникновения якоря.

д) Удерживающая способность якоря должна быть уменьшена на коэффициент R , который является функцией угла подъема на морском дне, и учитывать уменьшенное трение из-за укороченной длины заглубленного участка линии. Значения R в Таблице А.5 применимы для якорей Bruce FFTS Mark IV и Stevpris Mark V:

Таблица 13 — Значения R для якорей Bruce FFTS Mark IV и Stevpris Mark V

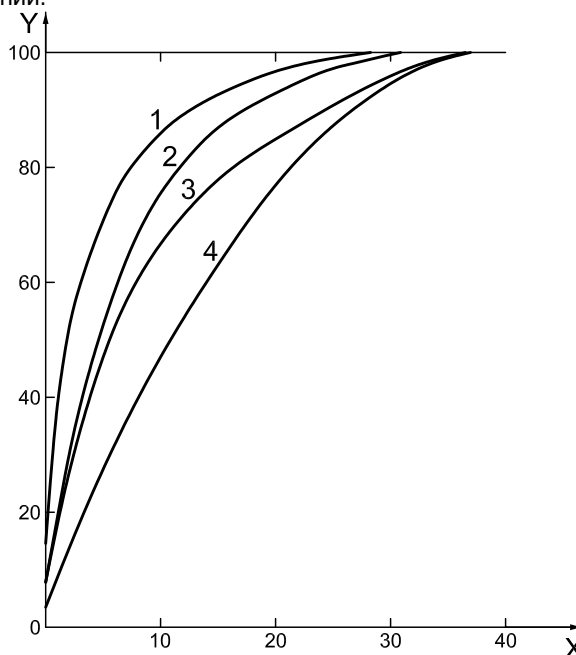
Угол морского дна °	0	5	10	15	20
R	1,0	0,98	0,95	0,89	0,81

Когда используются системы натянутых линий, то якорные линии находятся под начальным углом к морскому дну и сообщают вертикальные и горизонтальные усилия на якоря постоянно. Поэтому, якоря, заглубляемые протаскиванием, не должны использоваться. Стандартным решением является использование якорных свай или якорных плит, для которых указания по проектированию приведены в А.10.4.3 и А.10.4.4.

А.10.4.2.7 Расстояние волочения и глубина проникновения в мягкой глине

Многие факторы влияют на глубину проникновения за счет волочения, включая специфичные для площадки почвенные данные (стратиграфия почв, напряжение сдвига морского дна, средний градиент напряжения сдвига, чувствительность почв, и т.п.), а также размер и тип якоря. Для скрининг-анализа оценка расстояния волочения и глубина проникновения на основе данных из ссылки [72] представлены на Рисунке А.16 и в Таблице А.6, соответственно. Эта информация действительна для цепных ходовых концов и градиентов напряжения сдвига величиной 1,4 - 2,0 кПа/м. Отклонение от этого диапазона может повлиять на эти значения, особенно, на значения глубины проникновения.

Если конструкция якоря обусловлена дальнейшим проникновением в грунт для достижения удерживающей способности, то дополнительное волочение для противодействия расчётному неизменному воздействию не должно перегружать соседние линии.



Обозначения

X расстояние волочения/Длина лапы якоря

Y процент от максимальной способности

1 бесштоковый якорь (неподвижный)

2 якорь подвесного типа

3 типы якорей Bruce, F FTS MK III/Bruce TS/Danforth/GS (type 2)^a/LWT^a/Moorfast/Navmoor/Offdrill II^a/Stato/Stevmud/Stevpris MK III

4 типы якорей Boss^a/Flipper Delta^a/Stevdig^a/Stevfix/Stevin^a

a Допуск о том, что основано на геометрическом сходстве.

Рисунок 16 — Удерживающая способность в зависимости от расстояния волочения в мягкой глине
[72]

Таблица А.6 — Прогнозное максимальное проникновение наконечников лап ^[72]

Тип якоря	Нормализованное проникновение наконечников лап (длина лап якоря)	
	Пески/плотные глины	Вязкая почва (например, мягкий ил и глины)
Бесштоковый	1	3 ^а
Moorfast Offdrill II	1	4
Boss Danforth Flipper delta GS (Тип 2) LWT Stato Steyfix	1	4 ½
Sevpris MK III Bruce FFTS MK III Bruce TS Подвесного типа Stevmud	1	5
а Бесштоковый с неподвижными лапами.		

А.10.4.2.8 Новая конструкция якоря

Новые конструкции якорей и усовершенствования существующих продолжают. Однако, строго контролируемые инструментальные испытания и полевые данные по рабочим параметрам недостаточны для прогнозирования рабочих параметров многих из этих инновационных высокоэффективных якорей, хотя результаты таких испытаний могут использоваться для калибровки инструментов прогнозирования якорей (см. А.10.4.2.9). Способность прогнозировать зависимости «волочение-проникновение-натяжение» задействованных нагрузок, которые значительно меньше, чем конечная удерживающая способность также важны, как и конечная удерживающая способность. При отсутствии более качественных данных, значения удерживающей способности этих новых якорей могут быть консервативно оценены с помощью следующих уравнений:

$$H_n = H_s (A_n/A_s)^n \quad (A.19)$$

Где:

H_n - удерживающая способность новой конструкции;

H_s - удерживающая способность эталонной конструкции (например, Bruce FFTS Mark III или Stevpris Mark III

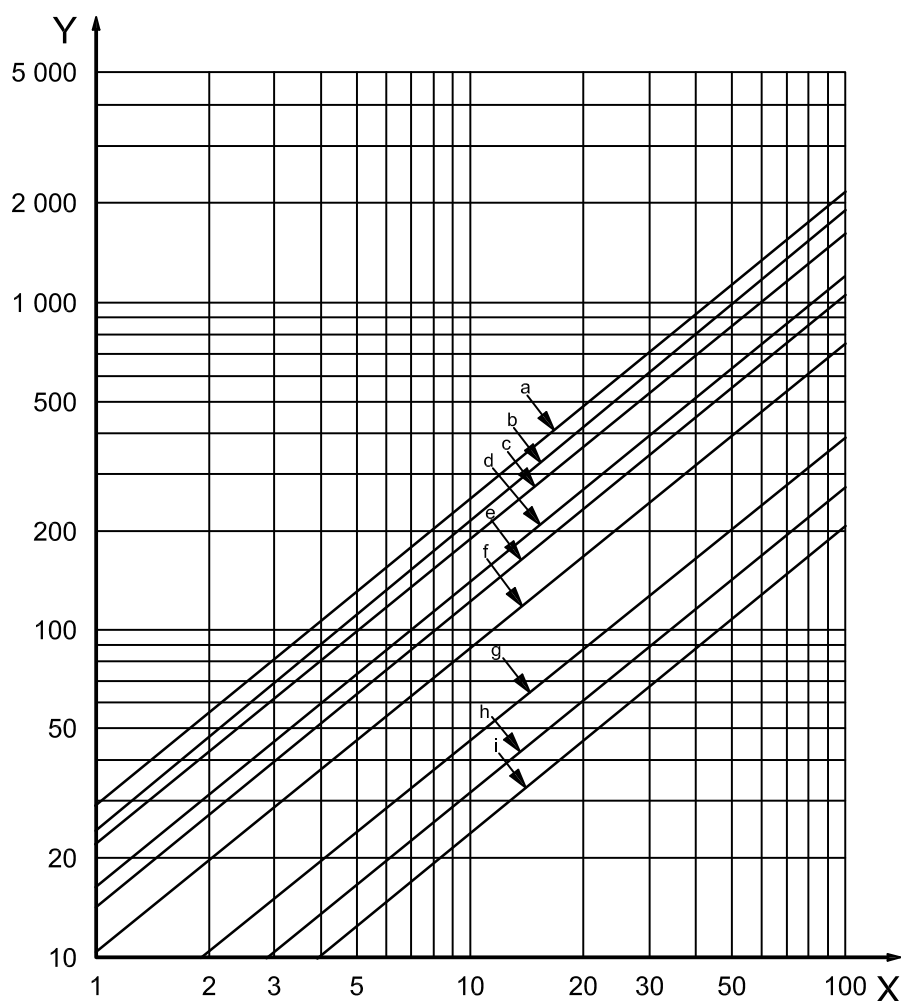
на Рисунках А.17 и А.18) аналогичного веса;

A_n - площадь лап якоря новой конструкции;

A_s - площадь лапы эталонной конструкции аналогичного веса;

n - 1,4 для распространенных высокоэффективных якорей.

Отношение площади лапы A_n/A_s может быть получено у производителей якорей.



Обозначения

X вес якоря (kips)

Y удерживающая способность якоря (kips)

Углы лап установлены для вязкого морского дна в соответствии со спецификацией производителя.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 1 kip = 4,448 кН

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Этот рисунок был воспроизведен из ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, за исключением того, что кривые удерживающей способности якорей Moorfast (или Offdrill II) и Stevpris были улучшены. Улучшение указанных двух кривых было основано на данных моделирования и полевых испытаний, а также полевом опыте, полученном за последние годы. Расчетные кривые на рисунке представляют, в целом, низшие границы данных по испытаниям. Они отражают данные которые действительны для конструкций якорей 1987г. С тех пор были разработаны новые конструкции якорей. Тем не менее, рабочие параметры этих новых конструкций были недостаточны и поэтому их расчетные кривые не были включены. Расчетные кривые не включают расчетный коэффициент надежности.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Эти якоря – примеры приемлемых коммерчески доступных продуктов. Эта информация предоставлена для удобства пользователей этой части ISO 19901 и не является продвижением со стороны ISO этих продуктов.

a Bruce FFTS Mk. III, Stevpris Mk. III

b Navmoor, Stato, Boss.

c Bruce TS, Hook, Stevfix.

d Flipper Delta, Stevin, Stevdig

e Moorfast, Offdrill II.

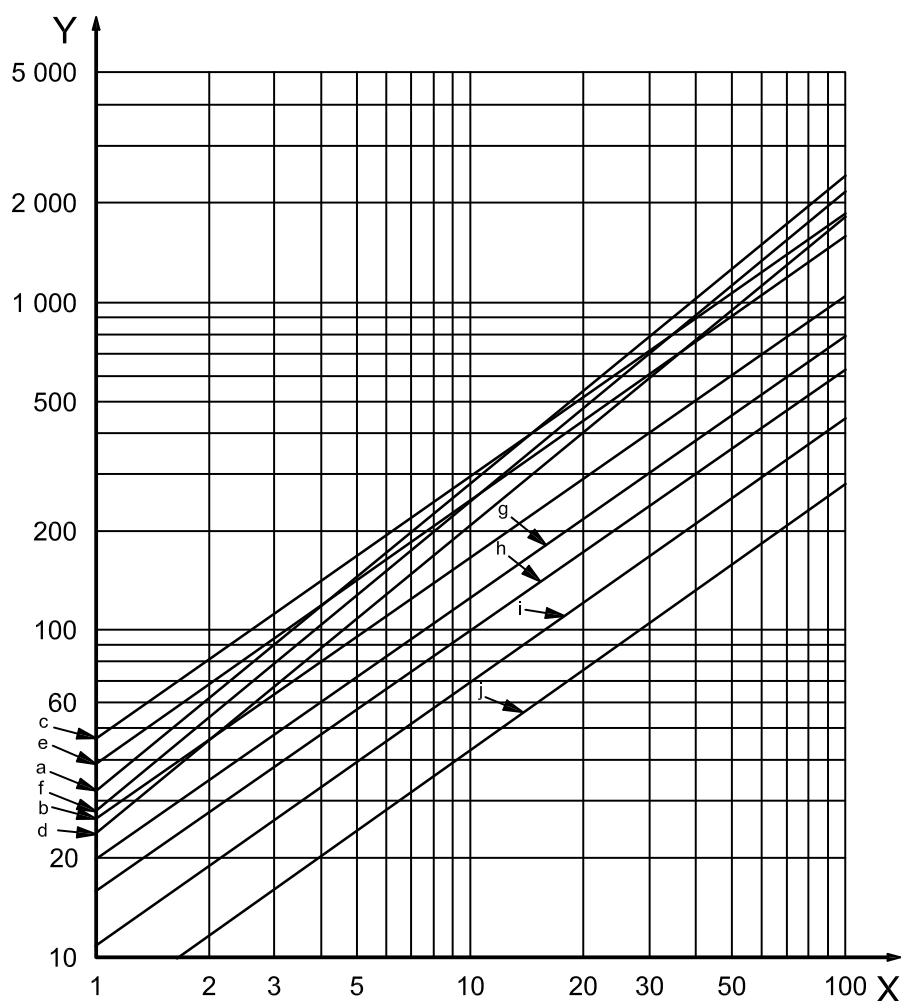
f Danforth, GS, LWT.

g Бесштоковый, неподвижные лапы.

h Bruce, литой.

i Бесштоковый, подвижные лапы.

Рисунок 17 — Удерживающая способность якорной системы в мягкой глине



Обозначения

X вес якоря (kips)

Y удерживающая способность якоря (kips)

Углы лап установлены для песчаного морского дна в соответствии со спецификацией производителя.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 1 kip = 4,448 кН

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Этот рисунок воспроизводится из Листа технических данных 83-08R, ссылка [72].

Расчетные кривые на рисунке представляют в целом низшие границы данных по испытаниям. Они отражают данные которые действительны для конструкций якорей 1987г. С тех пор были разработаны новые конструкции якорей. Тем не менее, рабочие параметры этих новых конструкций были недостаточны и поэтому их расчетные кривые не были включены. Расчетные кривые не включают расчетный коэффициент надежности.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Эти якоря – примеры приемлемых коммерчески доступных продуктов. Эта информация предоставлена для удобства пользователей этой части ISO 19901 и не является продвижением со стороны ISO этих продуктов.

a Navmoor, Boss.

b Stevin.

c Stevfix, Stevdig

d Stevpris, цилиндрическая шейка, Bruce TS

e Bruce, литой.

f Stato, угол пульсации 30°.

g Danforth GS, LWT.

h Moorfast, Offdrill II, 20° угол лап, подвесного типа

i Бесштоковый, 35° угол лап.

j Бесштоковый, 48° угол лап.

Рисунок 18 — Удерживающая способность якорной системы в песке

A.10.4.2.9 Аналитические инструменты для оценки рабочих параметров якоря

Имеются аналитические инструменты для вычисления заглубления и удерживающей способности якоря в мягкой глине, в основе которых заложены принципы предельного равновесия. Эти инструменты позволяют моделировать различные конструкции якоря и формировать подробную информацию о рабочих параметрах якоря, таких как траектория движения якоря, вращение якоря, профиль якорной линии ниже морского дна, уклонная способность якоря и т.п. Тем не менее, имеются определенные требования к этим инструментам, чтобы получать достоверные прогнозы.

а) Аналитические инструменты должны калиброваться по результатам высококачественных инструментальных испытаний в полевых условиях, или в центрифуге, выполненных с использованием интересующего типа якоря.

б) Свойства грунта должны быть хорошо известны, но это не всегда так при проектировании и монтаже якорей, врезающихся в грунт. Когда свойства грунта не определены, должны быть определены параметры грунта в верхней и нижней границе, и конструкция якоря должна базироваться на более консервативных прогнозах.

с) Пользователи должны знать об ограничениях возможностей инструментов, и быть в курсе швартовых операций. Например, некоторые инструменты, обычно, демонстрируют, что проникновение якоря непрерывно повышается, и удерживающая способность якоря все растет и растет. В таких случаях пользователь должен учитывать ограничение расстояния волочения для вычисления удерживающей способности якоря на расстоянии, которое не приводит к неприемлемому отклонению сооружения.

д) Эмпирические формулы или полевой опыт, если имеется, должен использоваться для поддержки аналитических прогнозов.

е) Аналитические инструменты должны быть способны работать с профилями слоистой глины. Некоторые инструменты способны работать с профилями слоистой глины с прослоями песка ограниченной мощности, а другие инструменты не могут моделировать слоистые профили.

A.10.4.2.10 Удерживающая способность якоря в песке

До настоящего времени не проводилось серьезных исследований по поведению якорей, врезающихся в песчаный грунт, с момента исследований ВМФ США (U.S. Navy's Study) [72]. Якоря не достигают глубокого проникновения в песке, и нельзя ожидать сопротивления подъему от слабозаглубленных якорей в любом грунте, т.е. угол подъема линии на морском дне должен быть нулевым.

В отличие от якорей в мягкой глине, якоря в песке не приобретают никакой дополнительной способности от эффектов после установки вследствие тиксотропии, или объединения циклических эффектов нагружения. Это означает, что в этом случае натяжение при установке якоря должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить необходимый коэффициент надежности для якорей и системы позиционирования. Натяжение при установке должно быть достаточно высоким, чтобы обеспечить коэффициент надежности, который учитывает неопределенности при вычислении нагрузок. Общие принципы проектирования и установки якорей, врезающихся в песчаный грунт, даны в предыдущих параграфах и в ссылке [33].

В плотном песке якоря, устанавливаемые мобильной морской буровой установкой MODU, могут в некоторых случаях быть видимыми на морском дне после установки из-за ограниченной способности лебедок MODU. В таких случаях, при использовании якорей с неглубоким проникновением не рекомендуется делать допущение о том, что якоря продолжают внедряться после перегрузки.

A.10.4.2.11 Удерживающая способность в других грунтах кроме мягкой глины и песка

Прогнозирование удерживающей способности якоря в твердой глине, известковом песке, коралловом или скалистом дне, а также в слоистых профилях грунта является сложным, и зависит от подробных данных по почве/скальным породам для каждого места установки куста якорей. В этих грунтах/скальных породах проникновение якоря очень незначительное, и это означает, что меры предосторожности, рекомендованные для якорей в песке (A.10.4.2.10), необходимо выполнять и в этом случае.

A.10.4.2.12 Удерживающая способность, создаваемая трением

Удерживающая способность, создаваемая трением цепи и стального троса на морском дне, может оцениваться с использованием Уравнения (A.20).

$$P_{CW} = f \times L_{CW} \times W_{CW} \quad (A.20)$$

Где:

P_{CW} - удерживающая способность цепи или стального троса;

f - коэффициент трения между цепью или стальным тросом и морским дном;

L_{CW} - длина цепи или стального троса, контактирующего с морским дном;

W_{CW} - вес погруженной единицы длины цепи или стального троса.

Коэффициент трения зависит от характера морского дна и типа якорной линии. Статические (начальные) коэффициенты трения в нормальных условиях используются для вычисления удерживающей способности линии, а коэффициент скольжения в нормальных условиях используются для вычисления сил трения на линии при развертывании системы позиционирования.

Если данные более специального характера отсутствуют для цепей и тросов, то могут быть использованы обобщенные коэффициенты из Таблицы A.7 для различных условий морского дна, такого как мягкая вязкая почва, песок и глина. Указания по вычислению трения на морском дне также приведены в DNV-RP-E301 [33]. Однако, отраслевой опыт показывает, что коэффициенты трения могут существенно варьироваться для различных грунтов, и были отмечены значительно более высокие значения для скользящих коэффициентов трения.

Таблица А.7 — Коэффициенты трения якорных линий

Якорная оттяжка	Коэффициент трения f	
	Статический	Скольз ящий
Цепь	1,0	0,7
Стально й трос	0,6	0,25

А.10.4.3 Анкерные сваи

А.10.4.3.1 Забивные анкерные сваи

А.10.4.3.1.1 Основные факторы

Могут конструироваться забивные анкерные сваи, чтобы обеспечить адекватную способность для натянутых систем позиционирования. Конструкция забивных анкерных свай обусловлена обширным опытом работы в отрасли по оценке геотехнических свойств, а также прогнозированием осевой и боковой способности для забивных свай. Вычисление удерживающей способности забивных свай, как они были разработаны для стационарных плавучих сооружений, подробно изложена в ISO 19902 [4]. Рекомендуемые в ISO 19902 критерии должны применяться для проектирования забивных анкерных свай, но с некоторыми модификациями, чтобы отражать отличия между швартовочными анкерными сваями и сваями для стационарных платформ. Некоторые указания даны в А.10.4.3.2.3 по конструкционной прочности вакуумных свай, и также могут использоваться для забивных свай. Конструкция забивных анкерных свай должна учитывать четыре вида потенциальных отказов:

- Выдергивание из-за осевых сил;
- Перенапряжение сваи и проушины якорной линии из-за бокового изгиба;
- Боковое вращение и/или трансформация;
- Усталость вследствие природных воздействий и монтажа.

Коэффициенты надежности для удерживающей способности даны в Таблице 7 в п. 10.4.3. Информация по связи между вертикальным и горизонтальным способностям приведена в А.10.4.3.2.2.4. Осевые коэффициенты надежности предполагают, что сваи первоначально нагружены натянутом состоянии, и поэтому их удерживающая способность выше, чем у свай, нагруженных при сжатии. Как и с другими свайными фундаментами, вычисленное конечное сопротивление грунта должно быть уменьшено, если уменьшение сопротивления сдвигу, которое является функцией времени после забивки свай, не закончилось до того, как к свае были приложены значительные усилия.

Поскольку режим бокового отказа для свай считается менее катастрофичным, чем вертикальный режим, то в Таблице 7 рекомендованы более низкие значения коэффициента надежности в отношении боковой удерживающей способности свай. Использование отдельных коэффициентов надежности для вертикальной и боковой удерживающей способности свай пригодно для простого анализа «балки-стойки» например, подвижных систем позиционирования (А.10.4.3.2.2.3.4), но более сложные методики не делают различия между вертикальным и боковым сопротивлением свай. Коэффициент надежности должен соответствовать указаниям, приведенным в А.10.4.3.2.2.5.

А.10.4.3.1.2 Конструктивные геотехнические решения и решения по структурной прочности

В большинстве конструкций анкерных свай якорная оттяжка крепится к проушине, которая располагается на свае ниже уровня морского дна, чтобы усилить боковую удерживающую способность. В результате, конструкция должна учитывать угол (под которым оттяжка соединяется с проушиной), формирующийся взаимнообратным несущим тросом через верхние слои грунта. Вычисление сопротивления грунта выше места установки проушины должно учитывать эффект формуемости из-за прорезания оттяжкой борозд при прохождении верхних слоев грунта.

Набивные анкерные сваи в мягкой глине, как правило, имеют аспектные отношения (проникновение/диаметр) 25 - 30. Сваи, имеющие такое аспектное отношение, ведут себя, как будто они горизонтально закреплены по месту на уровне наконечника сваи, и поэтому отклоняются вбок и разрушаются при изгибе, перед тем как переместиться вбок, как твердое тело. Напряжения свай должны быть ограничены положениями ISO 19902 при неизменном предельном состоянии ULS.

Как утверждается в ссылке [130], «статические» кривые p - u могут учитываться для вычисления бокового сопротивления грунта. «Циклические» кривые p - u могут больше подходить для вычисления усталости. Изменения в кривые p - u в ISO 19902 были предложены в ссылке [106], чтобы обеспечить, что боковые отклонения не завышены. Необходимо учесть падение кривых p - u для отклонений, превышающих 10 % от диаметра сваи. Кроме того, когда боковые отклонения, связанные с циклическими нагрузками на дне, или вблизи уровня дна сравнительно большие (например, превышающие u_c как это определено в ISO 19902 для мягкой глины), необходимо учесть уменьшение или игнорирование сцепления грунта-сваи (трение на поверхности) в этой зоне.

Конструкция забивных анкерных свай должна учитывать стандартные установочные допуски, которые могут влиять на вычисленное сопротивление грунта и структуру свай. Вертикальное положение свай влияет на угол якорной линии в месте установки проушины, которое меняет компоненты горизонтальных и вертикальных усилий якорных линий, которым должна противостоять свая. Недостаточное забивание свай влияет на осевую способность сваи, и может привести к повышенным изгибающим напряжениям в свае. Ориентация проушины (азимут) может влиять на локальные напряжения в проушине и соединительной смычке. Горизонтальное

позиционирование может влиять на возможности позиционирования/или угол в направляющем блоке плавучего сооружения, и должно учитываться при балансировке предварительного натяжения якорных линий.

A.10.4.3.1.3 Расчет усталостной прочности

A.10.4.3.1.3.1 Основные факторы

Анкерные сваи должны проверяться на наличие усталости, вызываемой усилиями якорной линии по месту. Усталостное разрушение вследствие напряжений при забивке свай также должно вычисляться и объединяться с усталостным разрушением по месту. Для стандартных систем позиционирования усталостное разрушение вследствие забивки свай намного выше разрушения, вызываемого силами якорных линий по месту.

A.10.4.3.1.3.2 Нагружение по месту

Глобальный анализ отклика свай, учитывающий взаимодействие «свай-грунта» должен проводиться в отношении реакций якорных линий из-за усталостных состояний моря, действующих на систему. Локальные напряжения, которые создают усталостное разрушение в свае должны быть получены вычислением SCF (коэффициент концентрации напряжений), по отношению к номинальным напряжениям, формируемым в результате проведения глобального анализа, в местах критичных для формирования усталости. Эти места, обычно, располагаются на проушине, на кольцевых швах между проушиной и сваем, а также между последующими тупыми наконечниками свай.

Оценка SCF для кольцевых швов должна учитывать локальные несовпадения толщины шва. Уравнения для определения SCF даны в ссылках [107] и [108]. Следует помнить, что вычисленное значение SCF должно быть скорректировано за счет отношения номинальной толщины, используемой в анализе отклика свай, к наименьшей толщине стенки сваи, присоединяющей сваи на стыке. SCF должно использоваться в номинальном диапазоне напряжений в месте шва вследствие воздействий по месту, на основе которых вычисляется разрушение.

A.10.4.3.1.3.3 Нагружение при установке

Динамическое воздействие вследствие воздействия молота в ходе забивки свай вызывает усталостное разрушение проушины и кольцевых сварных швов свай. Оценка циклических воздействий включает динамический отклик системы «свая-грунт» из-за воздействия молота. Это требует использование анализа уравнения по частоте волн на удар для указанного типа и производительности молота, проникновение сваи и сопротивление грунта. Различные анализы такого типа проводятся с целью репрезентативных внедрений свай. Для каждого анализа разрабатываются временной график напряжения в критических местах вдоль сваи, а также количество ударов, связанное с предполагаемым проникновением.

Для любого из сварных швов сваи (кольцевого или проушины), вычисление усталостного разрушения должно проводиться в различных местах расположения сварного шва с использованием диапазона локальных напряжений, полученного на основе анализа волнового уравнения в выбранных местах проникновения свай. Местоположение кольцевого сварного шва должно быть определено на основе графика монтажа свай. Локальный отклик должен включать соответствующий эффект SCF. Количество циклов истории нагружения на удар получается с использованием метода определения меняющейся амплитуды, такой как метод резервуара [109], или метод «дождя».

A.10.4.3.1.3.4 Усталостная прочность

Применимые кривые S-N зависят от процесса изготовления и критериев приемки дефектов. Как правило, секции свай свариваются двухсторонним процессом SAW (сварка под флюсом дуговая), и их оставляют в состоянии после сварки без последующей обработки. Для этого случая может быть использована D-кривая, как это определено в ссылке [110]. Использование более высокой кривой S-N для этого варианта без дополнительной обработки сварного шва, должно быть продемонстрировано имеющими отношение данными. Использование методов обработки сварных швов, таких как шлифование, может обеспечить повышение кривой S-N при условии, что

- а) Процесс шлифовки внедрен надлежащим образом,
- б) Внедрены методы освидетельствования сварных швов и критерии приемки дефектов, а также
- с) Выработаны соответствующие усталостные данные для качественного определения сварного шва до уровня рабочих параметров более высокого, чем уровень, обусловленный D-кривой.

A.10.4.3.1.3.5 Полное усталостное разрушение и коэффициент надежности

Как только определены усталостное нагружение и сопротивление, то можно оценить усталостное разрушение из-за воздействия по месту и монтажа, используя процедуры, аналогичные тем, которые были описаны в Статье 9 и A.10.4.3.2.3.7. Общее усталостное разрушение, D , должно удовлетворять следующему уравнению для критических структурных элементов:

$$D = F D_1 + F D_2 < 1 \quad (A.21)$$

Где:

F - коэффициент надежности, равный 3.0;

D_1 - вычисленное усталостное разрушение для Фазы 1, т.е. фазы монтажа (забивка свай) и фазы транспортировки, если это важно;

D_2 - вычисленное усталостное разрушение для Фазы 2, т.е. эксплуатационной фазы, в течение срока службы (например, 20 лет).

Дальнейшее обсуждение по конструкции усталостного разрушения для забивных свай приведено в ссылках [110] и [111].

А.10.4.3.1.4 Испытательное нагружение забивных анкерных свай

Записи установки забивных свай должны демонстрировать, что собственный вес свай, проникновение, ориентация свай, записи по забивке и конечное проникновение находятся в диапазонах, установленных в ходе проектирования свай и анализа установки свай. В этих обстоятельствах испытательная нагрузка якоря по отношению к полной неизменной штормовой нагрузке не потребуется. Однако, конструкция системы позиционирования якорей должна определить минимально приемлемый уровень испытательной нагрузки. Это испытательное нагружение должно обеспечить то, что взаимобратная кривая провеса позиционирования сформировалась достаточной, чтобы не допустить неприемлемое ослабление якорной линии во время шторма вследствие дополнительного увеличения взаимобратной кривой провеса. Другой функцией испытательного нагружения является обнаружение сильных повреждений компонентов системы позиционирования в ходе монтажа.

А.10.4.3.2 Кессонные (засасывающиеся) якоря

А.10.4.3.2.1 Общие положения

Кессонный якорь может принимать различные формы, начиная от гравитационного фундамента с юбками и заканчивая безбалластным кессонным якорем, который противостоит оказываемому воздействию за счет трения о грунт, бокового сопротивления и реверсивных концевых опор.

В общем, кессонный якорь технически приспособлен для диапазона твердого грунта от мягкого до среднего. Для очень мягких грунтов, как например тех, которые встречаются в дельте р. Миссисипи, кессонный якорь врезается так глубоко в почву, чтобы достичь прочных несущих материалов, что он становится неповоротливым и трудноуправляемым. Для очень твердых грунтов иногда кессонные якоря не могут проникнуть глубоко, чтобы обеспечить адекватную прочность по месту.

При спуске на морское дно в ходе начальной установки кессонный якорь проникает на определенную глубину под действием собственного веса и создает уплотнение, чтобы обеспечить начало засасывания. Вода выкачивается из внутренней полости кессонного якоря с помощью погружного или наземного вакуумного насоса через шлангокабель, подсоединенный к верхней части кессонного якоря. Это вызывает засасывание кессонного якоря в морское дно на расчетную глубину внедрения. Затем может быть помещен дополнительный балласт в камеру кессонного якоря по завершении внедрения.

Некоторая полезная информация по конструкции кессонных якорей дана в ссылках [6], [41], [82], [89] и [104].

А.10.4.3.2.2 Геотехническое конструктивное решение

А.10.4.3.2.2.1 Основные факторы

Конструкция кессонных якорей для плавучих сооружений включает следующие аспекты: проникновение и извлечение, удерживающую способность и анализ реакции грунта, или анализ взаимодействия структуры для расчета прочности. В зонах, таких как Мексиканский залив, где эффекты воздействия тропических штормовых циклонов могут превышать удерживающую способность подвижных систем позиционирования, конструкция вакуумных свай должна учитывать режим отказа якоря, который уменьшает вероятность выдергивания якоря. Для условий площадки, где наличие слоев твердого грунта может ограничить внедрение кессонного якоря, нужно вместо этого рассмотреть возможность использования якорей других типов.

Вычисление геотехнической удерживающей способности якоря должно основываться на наилучшей оценке свойств грунта. Адекватность якоря по отношению к установке должна быть проверена по верхней границе прочностных свойств грунта. Если налицо рассеивание почвенных данных более чем обычно, то конструктор должен учитывать повышение коэффициентов надежности, приведенных в Таблице 7.

Воздействие геометрии якорных линий в грунте на удерживающую силу якоря должно учитываться, поскольку геометрия действует на зависимость между горизонтальной и вертикальной силой удержания якоря. Взаимобратная кривая провеса якорной линии в почве может сделать угол якорной линии более крутым в месте проушины якоря, чем на уровне дна. Этот более крутой угол может проявиться в уменьшенной горизонтальной силе, но увеличенной вертикальной в месте проушины якоря. Верхние и нижние граничные кривые провеса должны быть проверены на предмет того, определено ли наихудшее нагружение якоря.

А.10.4.3.2.2.2 Аналитические методы

А.10.4.3.2.2.2.1 Анализ проникновения

А.10.4.3.2.2.2.1.1 Общие положения

Стандартный анализ проникновения включает вычисление трех количественных параметров для всех глубин проникновения. Параметры включают:

- Сопротивление проникновению, прикладываемое к якорю грунтом;
- Необходимое снижение давления, чтобы обеспечить врезание якоря;
- Критическое давление, которое может вызвать отказ грунтовой пробки.

Первостепенное значение имеет правильная оценка пониженного давления, которое необходимо чтобы свая достигла расчетного проникновения. Минимальное пониженное давление является критическими входными параметрами для расчета прочности якоря. Более того, насосы, используемые при монтаже, должны быть в состоянии обеспечить адекватное пониженное давление.

А.10.4.3.2.2.2.1.2 Сопротивление внедрению

Сопротивление внедрению (проникновению) можно вычислить в виде суммы бокового сдвига и конечной опоры на боковую стенку, а также любые другие выступающие части. Выступающие части включают в себя швартовку и подъемные проушины, продольные или кольцевые элементы жесткости, изменение толщины стенок, якорные цепи, спусковые бруссы, и другие детали.

Для якоря в глине без выступающих деталей и с плоской рабочей частью, сопротивление монтажу, на

указанной глубине проникновения наконечника, z , может быть вычислено с помощью Уравнения (A.22).

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{side}} + Q_{\text{tip}} \quad (\text{A.22})$$

$$Q_{\text{side}} = A_{\text{wall}} (\alpha_{\text{ins}} s_{u,\text{DSS}}) AVE$$

$$Q_{\text{tip}} = \left(N_c s_{u,\text{tip}}^{\text{AVE}} + \gamma' z \right) \times A_{\text{tip}}$$

Где:

Q_{tot}	- общее сопротивление проникновению;
Q_{side}	- сопротивление вдоль боковых стенок сваи;
Q_{tip}	- сопротивление наконечника сваи;
A_{wall}	- сумма внутренней и наружной площади стенок, погруженных в грунт;
A_{tip}	- площадь сечения наконечника сваи (исключая содержащийся грунт);
α_{ins}	- коэффициент сцепления в ходе монтажа (см. Пункт а));
$s_{u,\text{DSS}}$	- непосредственное простое статическое напряжение сдвига;
α_{ins}	- боковое трение;
$s_{u,\text{DSS}}$	- среднее боковое трение от уровня дна моря до глубины z ;
$(\alpha_{\text{ins}} s_{u,\text{DSS}}) AVE$	- коэффициент несущей способности (см. Пункт б));
N_c	- коэффициент несущей способности (см. Пункт б));
$s_{u,\text{tip}}^{\text{AVE}}$	- среднее значение трехосевого сжатия, трехосевого удлинения, и DSS недренированного напряжения сдвига на уровне наконечника якоря;
γ'	- эффективный вес единицы грунта;
z	- глубина проникновения наконечника.

а) Коэффициент сцепления при монтаже, α_{ins}

Коэффициент сцепления при монтаже, α_{ins} , обычно, определяется как отношение преобразованного статического напряжения сдвига в период ненарушенного статического напряжения сдвига, т.е., как инверсия чувствительности грунта. Коэффициент сцепления может быть определен различными методами, однако балансирный конус, неконсолидированно - недренированный метод при трехосном сжатии, и метод миниатюрных лопаток являются наиболее распространенными. Стандартный диапазон α_{ins} для глинисто-песчаной части Мексиканского залива составляет 0,2 - 0,5.

Может присутствовать неопределенность в чувствительности, так как на нее влияет качество неизменного сопротивления материала, к которому она относится. Альтернативным образом, боковое трение, $\alpha_{\text{ins}} s_{u,\text{DSS}}$, может быть уравнено с прямыми измерениями преобразованного статического напряжения сдвига посредством балансирного конуса, неконсолидированно - недренированным методом при трехосном сжатии. Преобразованное напряжение, используемое в конструкции, должно отражать и прямо измеренное значение, и значение, полученное на основе неизменного напряжения, деленного на чувствительность.

Некоторые записи по монтажу, тем не менее, продемонстрировали, что статическое напряжение сдвига границы раздела, мобилизованное при монтаже, может на указанной глубине быть меньше $\alpha_{\text{ins}} s_{u,\text{DSS}}$. В случаях, когда полное статическое напряжение сдвига границы раздела, $\alpha_{\text{ins}} s_{u,\text{DSS}}$, не может быть мобилизовано вдоль стенок якоря, как например, в случаях, когда якорь покрашен или подвергается необычной поверхностной обработке, должен применяться поправочный коэффициент к α_{ins} чтобы надлежащим образом прогнозировать сопротивление проникновению [112], [113]. Испытание грунта на сдвиг в кольцевой обойме с реальной поверхностью стенок, смоделированной в испытаниях, может быть использовано для измерения фактического статического напряжения сдвига границы раздела.

б) Коэффициент несущей способности, N_c

Значение коэффициента несущей способности N_c используется для вычисления сопротивления наконечника или выпуклости якоря проникновению зависит от формы выпуклости и отношения ширины выпуклости к глубине вдавливания выпуклости. Значения N_c варьируются в диапазоне 5.1 - 9.0 для круглых и узких оснований, как рекомендовано в ссылке [114].

Поскольку толщина стенок якоря, обычно, небольшая по сравнению с диаметром якоря и глубиной вдавливания, то наконечник якоря, обычно, рассматривается в виде более глубоко вдавленного узкого основания с N_c равным 7.5.

Значения N_c , которые используются в Уравнения (A.22), обобщены в Таблице А.8.

Таблица А.8 — Рекомендованный коэффициент N_c

Предназначение	Форма площади	N_c
Вычисление сопротивления проникновению наконечника сваи	полоса	7.5
Вычисление критического пониженного давления, вызывающего пробой грунтовой пробки (см. А.10.4.3.2.2.1.3)	кольцевая	6.2 - 9.0 в зависимости от отношения проникновения [114]
Вычисление сопротивления проникновению выступающих частей (см. ниже)	варьируется	5 - 13.5 [115]

Пример подробных вычислений N_c приведен в ссылке [116]. Значения N_c , которые отличаются от значений Таблицы А.8 являются приемлемыми, при условии, что они могут быть документально оформлены на основе результатов соответствующего моделирования и испытаний.

с) Изменение сопротивления внедрению из-за бугров

Уравнение (А.22) должно быть преобразовано, если имеются выступающие части. Изменение сопротивления проникновению из-за наличия компонентов системы позиционирования подъемных проушин, продольных или кольцевых элементов жесткости, якорных цепей, пусковых брусев, наконечников свай (не плоских, а, например, скошенных), либо любых других внутренних или внешних выступающих частей, должно быть тщательно исследовано с целью оценки изменений в трении и сопротивлении концевых опор, обусловленном выступающими частями. Большинство выступающих частей увеличивает сопротивление проникновению, за исключением внутренних кольцевых элементов жесткости, которые могут вызывать уменьшение внутреннего бокового трения, если они располагаются близко друг от друга [115], [117].

А.10.4.3.2.2.1.3 Необходимое пониженное давление

Необходимое пониженное давление, ΔU_{req} для врезания якоря можно вычислить следующим образом:

$$\Delta U_{\text{req}} = \frac{Q_{\text{tot}} - W'}{A_{\text{in}}} \quad (\text{A.23})$$

Где:

Q_{tot} - общее сопротивление проникновению;

W' - погруженный при монтаже вес;

A_{in} - вид сверху внутри площади, где прикладывается пониженное давление.

А.10.4.3.2.2.1.4 Критическое и допустимое пониженное давление

Критическое пониженное давление на указанной глубине, ΔU_{crit} , которое определено, как пониженное давление, вызывающее общее обратное разрушение опоры в виде смятия в наконечнике якоря и крупном поднятии почвы у якоря, может быть вычислено на указанной глубине следующим образом:

$$\Delta U_{\text{crit}} = N_c \times s_{u,\text{tip}}^{\text{AVE}} + \frac{A_{\text{inside}} \times (\alpha_{\text{ins}} \times s_{u,\text{DSS}})_{\text{AVE}}}{A_{\text{in}}} \quad (\text{A.24})$$

Где:

A_{inside} - внутренняя боковая площадь якорной стенки.

На мелководье критическое пониженное давление не должно превышать давление кавитации воды.

Рекомендуемое допустимое пониженное давление, ΔU_{allow} , определено в качестве максимального пониженного давления, которое должно быть приложено к якорю, и должно вычисляться в качестве критического пониженного давления, деленного на соответствующий коэффициент надежности. Минимальное значение коэффициента надежности, как правило, равно 1,5. Допускаются более низкие значения при условии, что в ходе монтажа за поведением грунтовой пробки осуществляется мониторинг и подтверждается, что разрушения пробки не произошло.

А.10.4.3.2.2.1.5 Поднятие грунтовой пробки внутри якоря

Поднятие грунта внутри якоря в ходе монтажа можно оценить, допустив, что часть (в процентах) объема глины переместилась площадью поперечного сечения якоря внутрь якоря. Эта часть в процентах зависит от геометрии якоря, режима проникновения (т.е. проникновение под действием собственного веса по сравнению с проникновением за счет пониженного давления) [118]. Обычно принимается, что 50 % грунта, перемещенного площадью поперечного сечения наконечника якоря, уходит внутрь якоря в ходе проникновения за счет собственного веса, если наконечник якоря плоский.

Окончательный подъем внутренней поверхности пробки зависит от вариации толщины стенок, внутренней устойчивости грунтовой пробки, а также расстояния и типа внутренних элементов жесткости [118].

Поднятие грунта должно учитываться при вычислении необходимого поднятия сваи и ее общей длины.

A.10.4.3.2.2.1.6 Аспекты, требующие особого внимания

Слоям песка, если они имеются, необходимо уделить особое внимание. Сопротивление проникновению в слоистых профилях, состоящих из переслаивающихся песков и глин, может быть существенно выше, чем в случае с одной глиной, в зависимости от плотности, степени цементации, распределения зерен по размеру, а также толщины, расстояния между слоями и глубины песчаных слоев.

Скорость проникновения через песчаные слои должна быть достаточно высокой, чтобы избежать чрезмерного потока воды через песчаные слои перед наконечником якоря, поскольку это может вызвать поднятие большой пробки.

A.10.4.3.2.2.2 Анализ извлечения

В геотехнических анализах также должно учитываться извлечение якоря в следующих случаях:

а) Подвижные системы позиционирования, где извлечение якоря необходимо для повторного использования якоря, или очистки морского дна. Процедуры извлечения всасывающих труб и анализ должны учитывать расчетное максимальное время развертывания;

б) Стационарные системы позиционирования, когда местные законы предусматривают извлечение якорей после того, как закончился срок службы плавучего сооружения. Процедуры извлечения вакуумных свай и анализ должны основываться на полной несущей способности грунта.

с) Подвижные или стационарные системы позиционирования, когда монтажные допуски превышены, якорная оттяжка повреждена в ходе монтажа, или применительно к другим нештатным ситуациям.

Для извлечения якоря нужно избыточное давление, $(\Delta U_{\text{req}})_{\text{retr}}$ и его можно вычислить с помощью Уравнения (A.25).

$$(\Delta U_{\text{req}})_{\text{retr}} = \frac{Q_{\text{tot}}(t = t_r) + W'}{A_{\text{in}}} \quad (\text{A.25})$$

Где:

$Q_{\text{tot}}(t = t_r)$ - общее сопротивление грунта на момент извлечения, t_r . Время $t = 0$ определяется как время в конце извлечения;

W' - вес погруженной части при извлечении;

A_{in} - вид сверху внутренней части, где прикладывается избыточное давление.

При вычислении общего сопротивления грунта при извлечении, $Q_{\text{tot}}(t = t_r)$, Уравнение (A.22) может быть использовано с некоторыми изменениями. Следует отметить, что статическое напряжение сдвига на границе раздела может быть выше, чем его значение при монтаже, из-за слеживания грунта. В A.10.4.3.2.2.3 даны указания по оценке увеличения коэффициента сцепления со временем.

Конструктор не должен забывать о возможных различиях между сопротивлением концевой опоры и натяжением и сжатием выступающих частей. Кроме того, максимальное давление извлечения должно быть выше давления, вызывающего разрушение грунтовой пробки.

Судно, извлекающее якорь, часто способно приложить подъемную силу к якорю с помощью спасательного каната. Такая помощь может существенно снизить необходимое давление извлечения и должно включаться в анализ извлечения. Поэтому, если нагрузка перекладывается на подъемный трос при извлечении, то такую нагрузку можно вычесть из числителя Уравнения (A.25).

Эффект от максимального давления извлечения на стальную конструкцию вакуумной сваи должен быть учтен (см. A.10.4.3.2.3.4.5).

A.10.4.3.2.2.2.3 Удерживающая способность

A.10.4.3.2.2.2.3.1 Общие положения

Инструменты анализа и проектирования для определения удерживающей способности кессонных якорей может классифицироваться одним из трех общих методов [115]. Они перечислены в порядке упрощения:

— Метод конечных элементов (FEM) или другой прогрессивный численный анализ;

— Метод предельного равновесия или метод предела пластичности (модели включают механизмы провала грунта);

— Полуэмпирические методы (в высшей степени упрощенные модели сопротивления грунта, включая модели сжатоизогнутых элементов).

Для анализа и конструирования кессонных якорей для заякоривания глубоководных плавучих буровых установок основное внимание уделяется конечной удерживающей способности якорей кессонного типа, а не их поведения в условиях зависимости прогиба от нагрузки.

Рекомендуется, чтобы при проектировании вакуумной сваи для стационарных систем позиционирования использовался метод конечных элементов, метод предельного равновесия или исследование в граничных условиях (см. A.10.4.3.2.2.2.3.2 and A.10.4.3.2.2.2.3.3). Для подвижных систем позиционирования преобладающими горизонтальными нагрузками, также считаются адекватными (с соответствующей модификацией) для использования полуэмпирические методы, такие как анализ сжатоизогнутых элементов (см. A.10.4.3.2.2.2.3.4) с использованием кривых перераспределения нагрузки (i.e. p - u , t - z , Q - z), описанных в ISO 19902. Метод модификации кривых p - u для учета более крупных диаметров вакуумных свай и для обеспечения того, чтобы боковое отклонение не было завышено см. в ссылке [106]. Преимущества и недостатки каждого метода обсуждаются ниже.

A.10.4.3.2.2.2.3.2 Метод конечных элементов (FEM)

Как это обсуждается в ссылке [115], метод FEM является наиболее точным из широко распространенных

аналитических методов для сложных конструкций (включая сплошные массы грунта и взаимодействие структуры грунта). Метод FEM позволяет выявить механизм критического отказа без предшествующих допущений со стороны пользователя, при условии использования соответствующей структурной модели. Метод FEM также имеет много преимуществ, включая способность учитывать сложную геометрию, пространственно-варьируемые свойства грунта, и нелинейное структурное поведение с критериями отказа. Основными недостатками метода является обязательное владение экспертом усовершенствованными методами численного анализа, а также большие затраты времени для настройки модели.

В вязких пластичных системах (фундаменты в мягких глинах обычно подпадают под эту категорию) конечная способность системы не зависит от свойств частичного отказа (например, модуль Юнга, коэффициент Пуассона) [119]. Было продемонстрировано, что тщательно сформулированный и выполненный анализ обеспечивает несущую способность системы, которая хорошо сопоставима с несколькими имеющимися точными аналитическими решениями [120].

Программное обеспечение FEM широко распространено и успешно используется для оценки специальных конфигураций вакуумных свай, согласовываясь с несколькими имеющимися экспериментальными результатами, и обеспечивая калибровку более простых моделей. Как указано выше, для выполнения таких анализов нужна специальная подготовка и значительные затраты времени, и поэтому метод еще не вполне подходит для параметрических исследований или стандартных проектных итераций (таких, как те, которые требуются для поиска оптимальной точки крепления якорной линии).

Анализ FEM может, тем не менее, справляться со сложными нагрузками и/или почвенными условиями, когда имеется недостаточный опыт, либо обеспечивать понимание специальных поведенческих аспектов фундамента (т.е. оценку изменений порового давления и эффективную траекторию в пространстве напряжений в любой точке массы грунта).

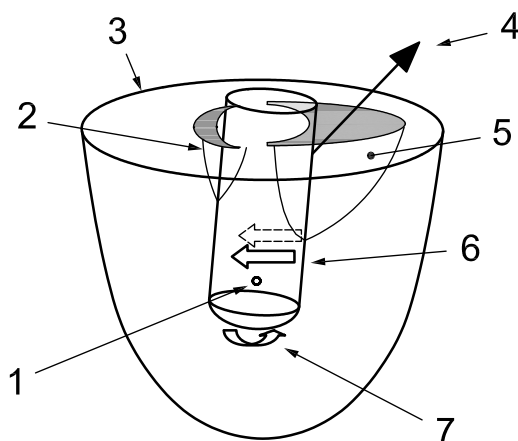
A.10.4.3.2.2.3.3 Метод предельного равновесия и аналитический метод предела пластичности

Как это обсуждалось в ссылке [115], эти модели более аппроксимирующие, чем модели FEM, но в целом намного проще в использовании, чем общие программы FEM. Методы включают в себя оценку конечной удерживающей способности пластичных систем, с использованием принятых механизмов отказа. Эти механизмы, как правило, основываются на сочетании экспериментальных наблюдений, более точных численных или аналитических исследований и технических оценок. Эти методы могут также включать способность содержать сложную геометрию и вариативность прочности грунта, а кроме того им не нужна характеристика поведения при частичном отказе.

Недостатками этих методов является аппроксимирующий характер анализа и сложность обобщения результатов, т.е. необходимость калибровки моделей для экспериментирования или проведения более сложного анализа для специальных структурных конфигураций и профилей грунта. Например, изменения в профиле напряжения грунта, геометрии якоря, наклоне нагрузки, точке приложения нагрузки или типу нагрузки (т.е. длительность, частота, отношение циклического к среднему компоненту нагрузки, и т.п.) могут потребовать изменений в базовой геометрии принятого механизма отказа.

В общем, имеется два подхода, которые можно использовать на основе принятых механизмов; метод предельного равновесия и метод предела пластичности. В методе предела пластичности принимается механизм обрушения, который, обычно, описывается в терминах одного или нескольких геометрических параметров [121], [122]. Оценивается распределение гидродинамической силы, граничные условия напряжения, и распределение напряжения или силы на поверхности скольжения (разрушения), а также проводится изучение по поиску геометрии, которая ближе всего к равновесному состоянию. Анализ предела пластичности также использует принятый механизм разрушения с добавленным требованием о том, что механизм удовлетворяет кинематическим ограничениям (т.е. несжимаемости для чисто вязущего материала, неразрывности перемещений, и т.п.) [123], [124].

Возможный механизм разрушения показан на Рисунке A.19. Другие предлагаемые механизмы можно найти в ссылках [123], [125] и [126]. В зависимости от механизма разрушения якорь должен сопротивляться нагрузкам вертикального подъема за счет собственного веса, поверхностного трения, REB и/или сдвига и/или обрушения от вращения на кончике сваи, пассивного и активного давления земли, и вращения грунта вокруг сваи.



Обозначения

- 1 центр вращения
- 2 зона активного клиновидного обрушения
- 3 граница показанного объема грунта
- 4 приложенная нагрузка
- 5 зона пассивного клиновидного обрушения
- 6 поток вокруг зоны
- 7 сопротивление наконечника вращению

Рисунок 19 — Трехмерная проекция механизма возможного отказа

В некоторых методах предельного равновесия площадь круга трансформируется в прямоугольник той же площади с шириной, равной диаметру, и эффекты 3D учитываются за счет коэффициентов бокового сдвига [121].

В целом, и метод предельного равновесия, и расчет по предельному состоянию дают верхнюю границу конечной способности и, таким образом, минимизируют конечную способность по отношению к геометрическим параметрам, давая «наилучший» ответ на конкретный механизм. Однако, «наилучший» ответ не всегда близок к «истинному» ответу в зависимости от принятого механизма. В методе предельного равновесия результат не является истинной верхней границей, если механизм не удовлетворяет кинематическим ограничениям. Обсуждение этих методов дано в ссылке [119].

В ряде существующих компьютерных программ внедрены эти методы, однако не существует одной общей принятой в отрасли программы или процедуры.

Выборочные модели были показаны для положительного сравнения с более точными результатами FEM для профилей мягкой глины и якорей с различной геометрией и точками крепления [127].

Автоматизированные решения на основе этих подходов, как правило, требуют намного меньшего описания входных данных и ими намного проще пользоваться, чем общими программами FEM. В результате они пригодны для проведения параметрических исследований и расчетных итераций. Однако, как уже было сказано выше, эти решения не обязательно сходятся с целью коррекции оценки удерживающей способности, даже проведенных с большой осторожностью и с хорошими аналитическими навыками, и результаты вычисления с помощью различных формул могут существенно отличаться. Таким образом, получение точных результатов в значительной степени зависит от инженерной оценки эксперта-аналитика.

A.10.4.3.2.2.3.4 Полуэмпирические методы: анализ сжатоизогнутых элементов

Как это обсуждалось в ссылке [115], эти модели являются наиболее аппроксимирующими, но в целом они самые простые для использования, если нет в наличии компьютерных программ с FEM, методом предельного равновесия или методом предела пластичности. Они называются полуэмпирическими, чтобы проинформировать, что они включают базовый механизм вакуумной сваи с разрушающей нагрузкой, но зависят от ряда эмпирических правил для представления сопротивления грунта. Эти правила, обычно, имеют менее обобщающий характер, чем методы, которые обсуждались в A.10.4.3.2.2.3.2 и A.10.4.3.2.2.3.3. Например, эти правила явным образом не включают механизмы обрушения грунта, но вместо этого представляют сопротивление грунта в качестве распределения нагрузки, которая варьируется вдоль границы раздела «свая-грунт». Если трудно обобщить такое распределение нагрузки для широкого диапазона типов профилей грунта, то конкретное решение может применяться, например, только по отношению к нормально консолидированной прочностной характеристике. Правила для построения этих распределений, обычно, основываются на сочетании экспериментальных и аналитических результатов. В так называемой модели «сжатоизогнутых элементов» грунт представлен несвязанными, нелинейными грунтовыми пружинами вдоль границы сваи. Метод сжатоизогнутых элементов может обеспечить оценку диаграммы перемещения нагрузки, включая полную способность системы «грунт-свая».

В модели сжатоизогнутых элементов сопротивление грунта представлено несвязанными, нелинейными пружинами грунта (кривые p - u), которые описывают поведение частичного отказа локального сопротивления грунта, а также максимальную удерживающую способность [128] [129]. В ISO 19902 формулы p - u для свай, и

кривые демонстрируют смягчающееся поведение (уменьшенное сопротивление с продолжающимся перемещением) для учета эффектов циклического нагружения [130]. Продолжается этот спор в ссылке [131], однако эти оценки конечной способности применительно к сваям, и, очевидно, по отношению к вакуумным сваям, должны основываться на несмягчающихся (статических) кривых p - u . В этой модели определяющими уравнениями для балки на (нелинейном) упругом основании решаются итерационно, пока не будет найдено равновесное решение для указанного значения приложенной силы. Пользователь может постепенно увеличивать силу в последующих шагах, пока решение перестанет сходиться в точке, которая будет интерпретироваться как обрушение.

Модель сжатоизогнутых элементов используется геотехническими инженерами уже почти 50 лет для анализа свай, нагруженных сбоку. Поэтому у ней есть решающее преимущество, которое заключается в хорошей осведомленности о ней специалистов. Существует множество программ с сжатоизогнутой моделью, включая программы общего назначения, в которых силы, а также нелинейные пружины, могут быть предусмотрены в любой виртуальной точке сваи, а также специальные версии, где нелинейная пружинная конструкция автоматизирована на основе минимальных входных данных по свойствам грунта. Таким образом, может существовать понятная для инженеров тенденция выбора этих программ для анализа вакуумных свай. Тем не менее, пользователь должен знать, что эти программы имеют существенные ограничения. Как это подробно изложено в ссылке [115], среди ограничений присутствуют стандартные сжатоизогнутые модели:

а) Игнорируется факт о том, что элементы сопротивления зависят от режима деформации и игнорируется связь между элементами сопротивления. Это может привести к значительным ошибкам, особенно в отношении довольно коротких свай.

б) Не включает независимых компонентов сопротивления боковому сдвигу на активной и пассивной стороне различных перемещений относительного сдвига модели между грунтом и свайей с двух сторон.

с) Не включают связь между горизонтальными и вертикальными компонентами сопротивления грунта вдоль сторон сваи, и, таким образом, не демонстрируют эффекта наклоненных сил удерживания якорем. Возможно, в принципе, связать эти элементы (кривые p - u и t - z), но это выполнялось лишь в специальных случаях [132].

д) Требуют ввода данных, которые не являются основными для оценки удерживающей способности, такие как жесткость при изгибе свай, и отклик грунта при частичном отказе, а также выдают данные, которые не представляют существенного интереса для анализа, такие как момент и профиль сдвига и отклик деформации нагрузки, которые, скорее всего, не очень точные. Поскольку большинство свай представляют собой усиленные конструкции, то уравнения для сжатоизогнутых элементов имеют сомнительную достоверность, и в большой степени бесполезны применительно к напряжениям в свае. Более удачной моделью сваи в этих обстоятельствах является твердое тело, которое можно аппроксимировать за счет задания свае жесткости на изгиб (EI) в виде произвольного большого значения (см. А.10.4.3.2.3.5 в отношении рекомендации по структурному проектированию).

е) Требуется вмешательство пользователя для определения удерживающей способности сваи. В большинстве программ сжатоизогнутых элементов конечная удерживающая способность определяется методом проб и ошибок, за счет постепенного увеличения или уменьшения прикладываемых сил, пока не будет определена минимальная сила, которая создает неустойчивость численного решения (интерпретируемую, как предел отказа).

ф) Требуется наличия специальных элементов для вращательного, вертикального и горизонтального сопротивления наконечника.

г) Явно не включает эффекты, такие как шероховатость границы раздела «грунт-свая» и потеря контакта с грунтом на обратной стороне сваи.

Можно сформулировать и внедрить программу сжатоизогнутых элементов, которая преодолевает большинство из указанных выше ограничений. Тем не менее, создается впечатление, что недостаточно стимулов это делать, но поскольку есть методы, которые проще внедрить то анализ вакуумных свай может специально разрабатываться.

А.10.4.3.2.2.3 Увеличение бокового трения со временем

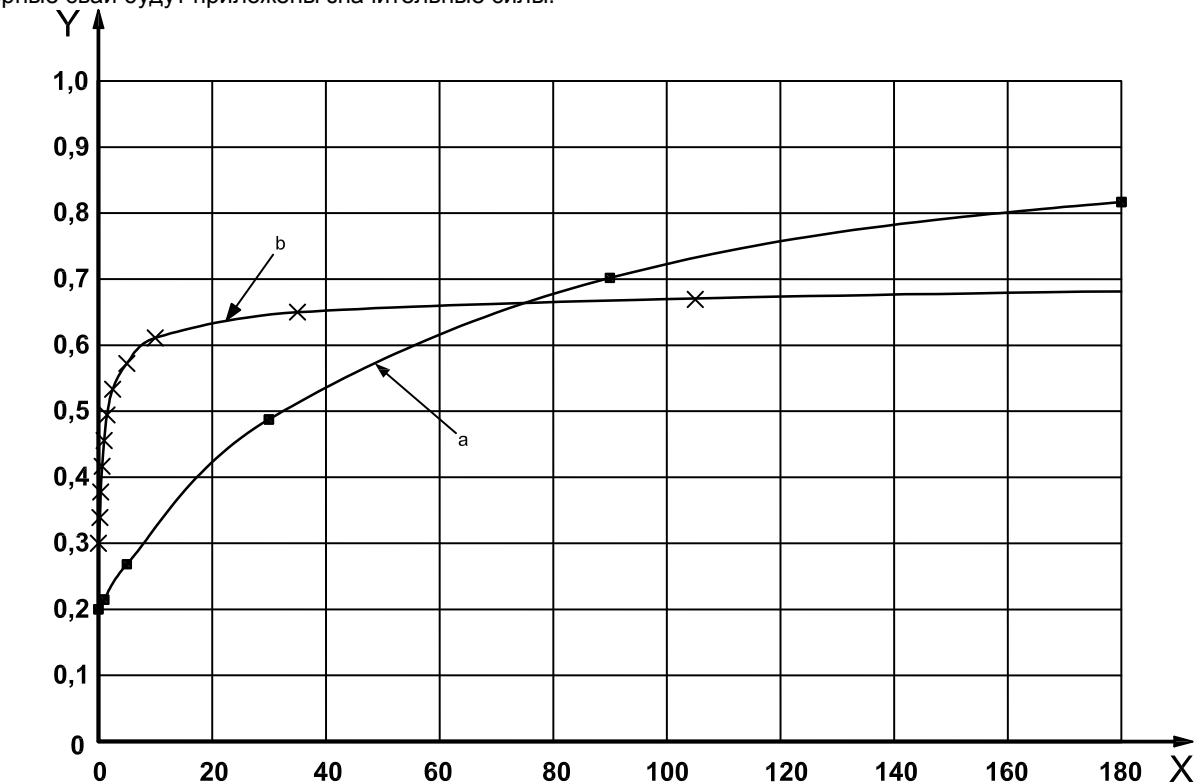
Как это описано в А. 10.4.3.2.2.1.2, боковое трение на указанной глубине может быть вычислено как $\alpha_{ins} S_{u,DSS}$. По прошествии времени после установки, боковое трение увеличивается за счет тиксотропических эффектов грунта и перераспределения порового давления на границе раздела сваи, т.е. слеживания грунта. Эффекты слеживания часто решаются за счет оценки изменений коэффициента сцепления, α_{ins} , со временем слеживание, в основном, влияет на вертикальную удерживающую способность, и в меньшей степени на горизонтальную способность вакуумных свай [133].

Процесс слеживания может различаться в части якоря, проникающего за счет собственного веса, и части, проникающей за счет пониженного давления. Для вакуумных свай, находящихся в высокопластичных глинах, время слеживания может быть длительным и может наблюдаться постоянная потеря напряжения сдвига, тем самым конечное боковое трение после полного слеживания будет меньше, чем исходное ненарушенное напряжение сдвига (т.е. коэффициент сцепления, α_{ins} , меньше, чем 1,0 после полного слеживания), и в части якоря, проникающего за счет собственного веса, и части, проникающей за счет пониженного давления.

Некоторые исследователи [134] заявили, что часть якоря, проникающая за счет пониженного давления, как правило, быстрее слеживается и меньшее конечное боковое трение наблюдается после полного слеживания, по

сравнению с частью, проникновение которой произошло за счет собственного веса. На Рисунке А.20 показан стандартный график прогнозирования слеживания грунта применительно к якорю кессонного типа большого диаметра в типичном грунте Мексиканского залива, и иллюстрирует неопределенность течения при вычислении слеживания грунта. Методы, приведенные в ссылке [133] [135] даны, чтобы проиллюстрировать потенциальную разницу времени слеживания и конечного трения для различных частей вдоль боковой части якоря. Слеживание вдоль части якоря, проникающего за счет пониженного давления может возникнуть намного быстрее, однако постоянное уменьшение может быть сильнее. Метод, приведенный в ссылке [135], был разработан для забивных свай с отношением диаметра к толщине стенок менее 40. Метод, указанный в ссылке [133] был предложен для проникновения за счет пониженного давления. Оба метода должны применяться с осторожностью вне диапазона данных, использованных при их разработке. Другие методы, разработанные для забивных свай, включают метод, описанный в ссылке [136]. Не существует единого для отрасли метода построения кривых слеживания.

Как и в случае с другими системами свайных фундаментов, вычисленная конечная удерживающая способность якоря должна быть уменьшена, если слеживание грунта не будет закончено до того, как на анкерные сваи будут приложены значительные силы.



Обозначения

X время после установки (дней)

Y альфа = (боковое трение в момент t) / (ненарушенное напряжение сдвига)

a Bogard [135] — диаметр = 6фт ; толщина стенок = 1,8 дюйма.; средняя кривая.

b Andersen and Jostad [133] — альфа в момент установки = 0,3; альфа при слеживании 90% = 0,65.

Рисунок 20 — Пример увеличения коэффициента сцепления со временем

Аспект слеживания может быть решен различными путями в ходе проектирования. Конструктор может обеспечить адекватную удерживающую способность якоря, если:

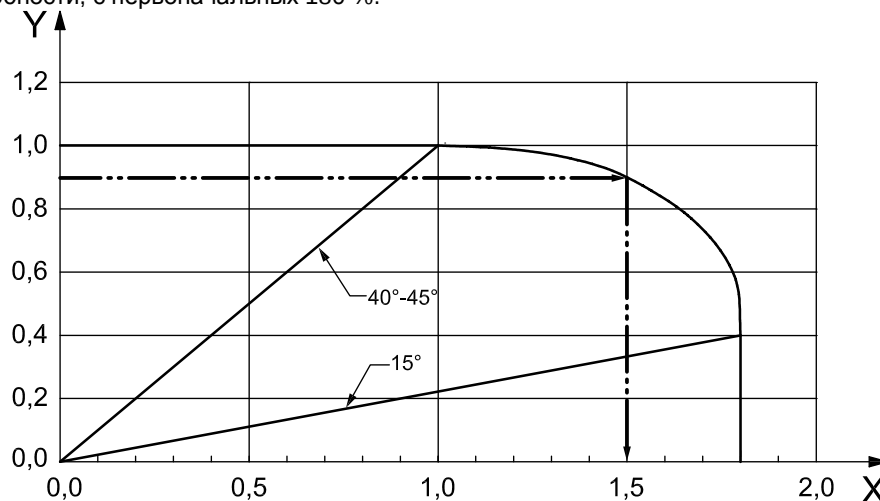
- Вакуумная свая спроектирована с частичным слеживанием грунта;
- Вакуумная свая установлена задолго до подсоединения плавучего сооружения, чтобы обеспечить адекватное слеживание грунта, когда система позиционирования испытывает расчетные нагрузки;
- Для ограниченного периода времени между установкой системы позиционирования и началом добычи, сниженные критерии экстремальных воздействий могут быть приняты, на основе анализа приемлемых рисков.

А.10.4.3.2.2.4 Связь между горизонтальной и вертикальной удерживающей способностью

Когда якорь кессонного типа противостоит расчетным воздействиям, то вертикальные и горизонтальные компоненты удерживающей способности якоря не мобилизуются независимо. Связи между вертикальными и горизонтальными компонентами удерживающей способности могут быть важными в определенных ситуациях. Исследования показали, что для углов якорных линий в месте проушины на уровне 15° - 45° (при измерении от горизонтали) игнорирование этой связи [121], [137] может быть некорректным.

Представленное ниже обсуждение можно применить только к монтажу, и поэтому его нельзя использовать

для проектирования. Пример диаграммы взаимодействия отказов, показанный на Рисунке А.21, является типичным для вакуумных свай с отношением длины к диаметру на уровне 5, с грунтом с линейным повышающимся напряжением сдвига и низким напряжением сдвига на морском дне. Швартовая проушина расположена на обойме сваи, примерно на 2/3 ниже верхней части сваи. В этом примере диаграмма показывает, что, если сила первоначально вертикальная, а швартовая проушина находится под углом 40° или 45° и вплоть до 90°, то режим разрушения контролируется вертикальным выдергиванием, и имеется 100 % вертикальной способности. Аналогичным способом, если сила, в основном, горизонтальная, а угол швартовой проушины составляет от нуля до 15°, то режим разрушения контролируется горизонтальным выдергиванием и имеется 100 % горизонтальной способности сваи. В этом случае максимальная горизонтальная способность составляет 1,8 траз от вертикальной способности. Если, тем не менее, угол швартовой проушины составляет 15° - 40°, то имеются способности меньше максимальных вертикальных и горизонтальных. В показанном примере имеется только 90 % вертикальной способности; и имеющаяся горизонтальная способность уменьшена до 150 % от вертикальной способности, с первоначальных 180 %.



Обозначения

X $H/V_{\max}$

Y $V/V_{\max}$

V вертикальный компонент нагрузки

H горизонтальный компонент нагрузки

$V_{\max}$ вертикальная конечная способность якоря для чисто вертикальных нагрузок

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Эта диаграмма взаимодействия дана только для иллюстрации, и не предназначена для применения в проектировании.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Углы швартовой проушины измеряются от горизонтали.

Рисунок 21 — Пример диаграммы взаимодействия отказов

А.10.4.3.2.2.5 Коэффициенты надежности (FOS)

Коэффициенты надежности (FOS) для удерживающей способности определяются, как вычисленная способность, деленная на максимальную силу удерживания якоря на основе динамического анализа, и они представлены в Таблице 7 (см. 10.4.3) для осевых и боковых сил. Информация по связи между вертикальными и горизонтальными способностями см. в А.10.4.3.2.2.4. Осевой FOS учитывает, что свая сначала нагружается при натяжении, и поэтому удерживание выше чем у свай, нагруженных при сжатии.

При учете бокового режима разрушения для свай он считается менее катастрофичным чем вертикальный. Более низкое значение FOS было рекомендовано в Таблице 7 для боковой способности свай. Использование коэффициентов надежности отдельно для вертикальной и горизонтальной способности свай может быть прямо направлено на простой анализ сжатоизогнутых элементов, например, подвижных систем позиционирования (см. А.10.4.3.2.2.3.4), однако более сложные методики не различают между вертикальным и боковым сопротивлением свай.

Коэффициент FOS используемый в проектировании и должен основываться на механизме обрушения, контролирующем удерживающую способность, а не только на угле швартовой проушины. Хотя угол швартовой проушины и механизм обрушения связаны, однако другие параметры, такие как профиль грунта, геометрия якоря, а также точки приложения нагрузки, также важны для определения механизмов обрушения. Для случаев, когда осевое выдергивание контролирует обрушение минимальное значение FOS должно соответствовать Таблице 7, вне зависимости от угла швартовой проушины. Для случаев, когда контролирует ситуацию боковое выдергивание, минимальное значение FOS должно соответствовать Таблице 7, вне зависимости от угла швартовой проушины. Уравнение (А.26) предлагается, чтобы обеспечить объединенный FOS для ситуаций, когда ни осевая, ни боковая способность не контролирует конструктивные решения. Для указанной геометрии, точки крепления проушины и профиля грунта, объединенный FOS может быть вычислен следующим образом:

Если $\theta \leq \theta_{\text{lateral}}$, $FOS_{\text{combined}} = FOS_{\text{lateral}}$

Если $\theta \geq \theta_{\text{axial}}$, $FOS_{\text{combined}} = FOS_{\text{axial}}$

Если $\theta_{\text{lateral}} \leq \theta \leq \theta_{\text{axial}}$

$$FOS_{\text{combined}} = FOS_{\text{lateral}} + \frac{\theta - \theta_{\text{lateral}}}{\theta_{\text{axial}} - \theta_{\text{lateral}}} \times (FOS_{\text{axial}} - FOS_{\text{lateral}}) \quad (\text{A.26})$$

Где:

FOS_{combined} - объединенный FOS;

FOS_{lateral} - боковой FOS из Таблицы 7;

FOS_{axial} - осевой FOS из Таблицы 7;

θ - угол якорной линии от горизонтали в точке крепления сваи;

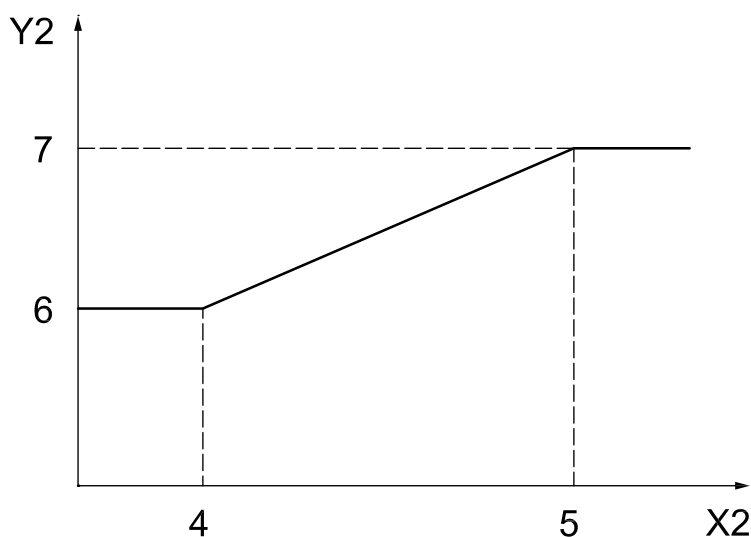
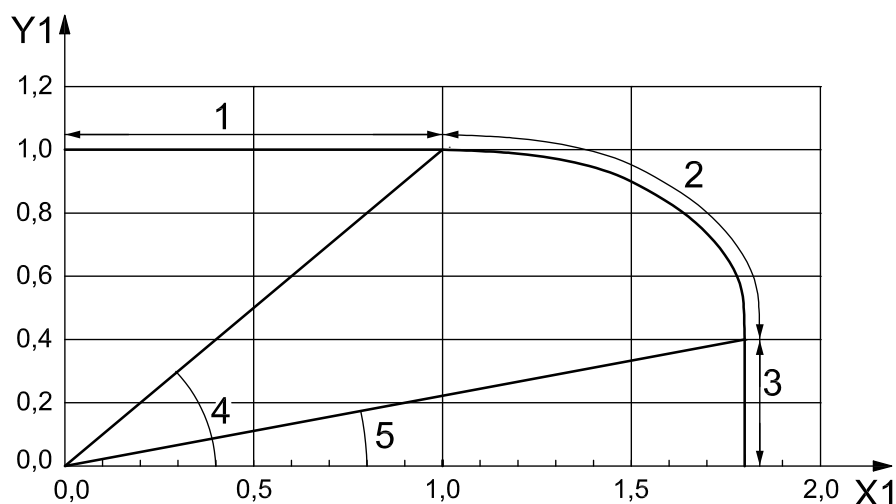
θ_{lateral} - угол якорной линии, измеренный от горизонтали, ниже которого конечная способность контролируется боковой способностью;

ПРИМЕЧАНИЕ Боковая способность определяется, как способность в условиях только горизонтальных нагрузок.

θ_{axial} - угол якорной линии, измеренный от горизонтали, выше которого конечная способность контролируется осевой способностью.

ПРИМЕЧАНИЕ Осевая способность определяется, как способность в условиях чисто вертикальных нагрузок.

Рисунок А.22 иллюстрирует диапазон применения различных компонентов Уравнения (А.26).



Обозначения

$X1$ $H/V_{\max}$

$X2$ угол нагрузки (от горизонтали)

$Y1$ $V/V_{\max}$

$Y2$ коэффициент надежности, FOS_{combined}

1 $FOS_{\text{combined}} = FOS_{\text{axial}}$

2 FOS_{combined} в соответствии с Уравнением (Е.5)

3 $FOS_{\text{combined}} = FOS_{\text{lateral}}$

4 θ_{axial}

5 θ_{lateral}

6 FOS_{lateral}

7 FOS_{axial}

Рисунок 22 — Вычисление необходимого FOS, как функции режима разрушения

А.10.4.3.2.2.6 Другие специальные аспекты

а) Закрытая верхняя часть по сравнению с открытой

Верхняя часть якоря должна оставаться герметичной на протяжении срока службы месторождения, если обратный концевой подшипник (REB) на наконечнике якоря будет основой для конструкции. Следует помнить, что при увеличении слеживания грунта и бокового трения, необходимость в REB снижается и, таким образом, снижается требование поддерживать герметичным верхний колпачок. Для якорей с преимущественно горизонтальной нагрузкой, герметичный верх не столь важен для обеспечения способности, и верхнюю часть можно снять после установки [140].

б) Анизотропия предела прочности

Вычисления удерживающей способности должны выполняться, используя анизотропическое статическое напряжение сдвига, включая эффекты объединённой статической и циклической истории нагружения.

с) Внутренние кольцевые элементы жесткости

В отношении больших долговременных нагрузок, а также в отношении вакуумных свай, которые не герметичные в верхней части, поверхностное трение вдоль внутренней обшивки юбки является важной составляющей удерживающей способности. Трение внутренних стенок может быть значительно меньше, чем начальное статическое напряжение сдвига из-за возмущенного воздействия при монтаже, особенно, если якорь имеет внутренние элементы жесткости. В сваях, где имеются кольцевые элементы жесткости, глина из верхней части профиля, а также вода, может быть уловлена между элементами жесткости и обеспечить меньшую удерживающую способность на большей глубине. В таких случаях секция между кольцевыми элементами жесткости также может действовать в качестве канала дренирования [115].

д) Неплотное соприкосновение

Может образоваться зазор снаружи на активной стороне (т.е. обратной стороне) якоря. Имеются неопределенности по поводу того, как прогнозировать образование зазора, если только глина не мягкая, и не с существенно нулевым отсекаемым отрезком напряжения, в этом случае зазор не образуется. Поэтому необходимо делать консервативные допущения по отношению к тому, будет ли сформирован зазор или нет. Необходимо консервативно учитывать размещение точки приложения нагрузки достаточно далеко, ниже оптимальной глубины приложения нагрузки к верхней части кессонного якоря, чтобы сместить его "вниз" (т.е. от направления якорной линии) при нагружении, чтобы не допустить создание зазора.

е) Допуски на установку

Приемлемые допуски на установку (например, наклон и ориентация) должны быть включены в вычисления удерживающей способности, поскольку наклон и внеплоскостное нагружение могут уменьшить удерживающую способность сваи.

ф) Изменение наружного диаметра

Вариации наружного диаметра с глубиной могут уменьшить прочность наружной границы раздела. В целом, проектные решения с различиями в наружных диаметрах нужно избегать.

г) Песчаные слои

Песчаные слои, если имеются, могут оказывать существенное влияние на удерживающую способность. Необходимо обеспечить, чтобы песчаные слои не вызывали избыточного дренирования и перераспределения давления, которое может отрицательно повлиять на REB, особенно, если якорю придется противостоять долговременным нагрузкам.

h) Расстояние между местами установки

В случае, если нужно извлечь якорь и установить повторно, то определение минимального расстояния между первым местоположением и последующим местом должно обеспечить, чтобы грунт, нарушенный при первой установке, не был мобилизован, когда якорь противостоит расчетным нагрузкам в последующем местоположении.

i) Пролонгированное воздействие

Должна быть учтена продолжительность долговременного воздействия (например, оползание в условиях кольцевого течения), а кроме того период циклического нагружения, и должна быть скорректирована способность якоря с учетом всех указанных эффектов. Примеры уменьшения способности, как функции времени удержания воздействия, в отношении вертикально нагруженных якорей в глине Мексиканского залива можно найти в ссылке [141].

Комбинация указанных аспектов может использоваться при проектировании приемлемой конструкции вакуумной сваи. Из-за сложности анализа возможностей крупных стационарных вакуумных свай, необходимо проконсультироваться с геотехническим специалистом.

A.10.4.3.2.3 Расчет прочности

A.10.4.3.2.3.1 Основные факторы

Этот подпункт предназначен, чтобы дать указания и предоставить критерии для расчета прочности вакуумных свай. Некоторые из указаний и критериев также применимы в отношении забивных свай. Расчет прочности якорных плит не рассматривается поскольку, как правило, выполняется изготовителями якорей.

A.10.4.3.2.3.2 Аспекты изготовления

Критерии расчета прочности даны в следующих разделах и допускают, что вакуумные сваи были изготовлены с определенными размерами и допусками. Как минимум, следующие размеры и допуски должны быть указаны в спецификации по изготовлению вакуумной сваи помимо диаметра сваи и перечня толщин стенок:

а) Длина сваи

Полная длина сваи должна быть указана в приемлемых допусками. Минимальная длина, указанная таким образом, должна быть приемлемой по отношению к геотехническим решениям.

б) Отклонение от круговой формы (OOR)

Отклонение от круговой формы представляет собой разность между наружным диаметром и внутренним диаметром в любой точке вдоль длины сваи, и не должно превышать 1% от номинального наружного (или внутреннего) диаметра [4], [150]. Округлость величиной 1 % является максимальным OOR, которое принято в формулах выпучивания, приведенных в ISO 19902 [4], API 2U [148] и в DNV Classification Notes 30.1 [151].

Для каждого сечения, минимально должно быть два набора по две пары диаметров, каждый из которых

должен быть отобран (т.е. восемь точек по окружности сваи). На Рисунке А. 23, эти восемь точек будут А-Е и G-С для первого комплекта и F-B и D-H для второго комплекта. Следует помнить, что на Рисунке А.25 также приведена процедура измерения OOR на гильзах с их продольными осями в горизонтальном положении. Эта методика, в большей степени, устраняет эффект, действующий на вычисления OOR по овальности гильзы из-за гравитации. Альтернативным образом, измерения OOR можно выполнить, когда ось гильзы расположена вертикально.

с) Округлость

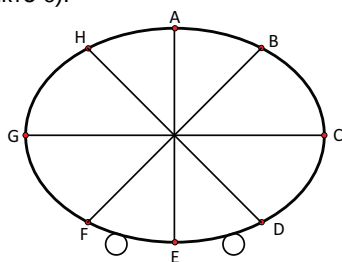
Округлость представляет собой меру для локальных отклонений стенок сваи от их теоретической формы, а в этом случае от арки аналогичного со сваей радиуса. Округлость измеряется с помощью лекального шаблона, который имеет одну кромку скошенную в сторону теоретического внутреннего или наружного радиуса (в зависимости от ситуации). Рекомендуемая длина дуги лекального шаблона составляет 1/10 от окружности сваи. Измерение округлости обеспечивает, что вмятины, пятна контакта или другие геометрические изъяны, не будут отрицательно воздействовать на сопротивление выпучиванию стенок цилиндрической сваи при засасывающем проникновении.

По мере того, как протяжной шаблон перемещается вокруг окружности сваи в плоскости, перпендикулярной оси сваи, зазор между лекальным шаблоном и сваей измеряется. Приемлемый допуск может быть определен на основе нелинейного анализа устойчивости стенки сваи. Количество окружностей, проверенных вдоль длины сваи, должно быть достаточным для улавливания всех потенциальных вмятин или пятен контакта на свае. Поверочная линейка, удерживаемая параллельно продольной оси сваи, должна использоваться для исследования протяженности любых вмятин, которые обнаружены с помощью лекального шаблона см. ссылку [4] и [151] в отношении указаний по таким измерениям.

Рекомендуется, чтобы программа контроля размеров включала проверку OOR и округлости, как части процесса формирования гильзы. Отдельные гильзы не должны включаться в компоновку свай, пока не будут удовлетворять требованиям по OOR и округлости. Комплектная свая также подлежит окончательным проверкам OOR и округлости, помимо исследования прямолинейности и проверки длины.

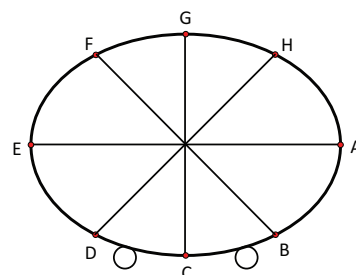
д) Прямолинейность

В целом, общая прямолинейность должна быть согласована с требованиями ISO 19902 [4]. По причине довольно большого отношения диаметра к длине вакуумных свай, такие сваи, обычно, не подвергаются режиму отказа при потере устойчивости колонны, который будет лишь усиливаться недостатком прямолинейности. Тем не менее, локальная потеря устойчивости возможна, поэтому рекомендуется выполнить измерения поверочной линейкой в Пункте с).



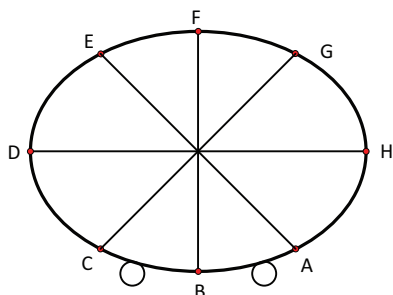
Шаг 1

— измерить AE и GC



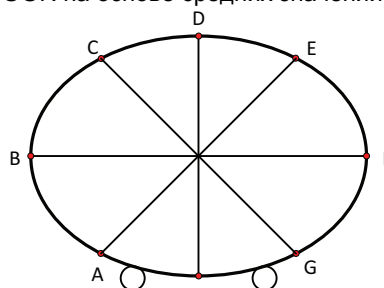
Шаг 2

— повернуть на 90°
— измерить GC и AE
— осреднить значения AE
— осреднить значения GC
— вычислить OOR на основе средних значений



Шаг 3

— повернуть на 45°
— измерить FB и DH



Шаг 4

— повернуть на 90°
— измерить FB и DH
— осреднить значения FB
— осреднить значения DH
— вычислить OOR на основе средних значений

Рисунок 23 — Процедура измерения отклонения от круговой формы сваи

А.10.4.3.2.3.3 Погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка

Чтобы контролировать затраты и вес изделия, у вакуумных свай иногда большие секции изготавливают из тонкостенной стали. Такие тонкие стенки свай очень чувствительны к повреждениям за счет использования несоответствующих временных опор в ходе погрузочно-разгрузочных работ на заводском дворе. Рекомендуется изготавливать временные подпорки перед погрузкой/разгрузкой и инструктировать такелажников по надлежащим процедурам с вакуумными сваями.

Повреждение сваи может произойти и в ходе выгрузки, и в ходе транспортировки. Необходимо соблюдать осторожность при погрузке и разгрузке вакуумных свай и их секций с целью минимизации бокового или вертикального воздействия. Конструкция секции и подгонка сваи в секциях не должна делать недействительными допущения по транспортировке. Например, если необходим почти полный контакт с секцией для хранения свай, то напряжения, создаваемые в ходе транспортировки, должны быть меньше допустимых расчетных значений, и фактическая подгонка сваи должна соответствовать допущениям, либо конструкция секции должна быть подогнана соответствующим образом.

А.10.4.3.2.3.4 Расчетные ситуации

А.10.4.3.2.3.4.1 Общие положения

Конструкция вакуумной сваи должна быть способна противостоять максимальному воздействию, приложенному якорными оттяжками, максимальному отрицательному давлению, которое необходимо для врезания якоря в грунт, максимальному внутреннему давлению, необходимому для извлечения якоря, а также максимальному воздействию на якорь в ходе подъема, погрузки/разгрузки, скольжения, спуска и извлечения. Усталостная стойкость критических компонентов и зон наивысшего напряжения якоря должна быть определена и проверена на предмет необходимой минимальной усталостной прочности.

А.10.4.3.2.3.4.2 Влияние позиционирования на глобальную структуру якорей

Расчетная ситуация, которая обеспечивает максимальные горизонтальные и вертикальные воздействия в месте установки швартовой проушины, должна использоваться для глобального расчета прочности якоря. Реакции грунта, которые были определены в результате геотехнического анализа, должны использоваться в этих расчетах. Проверки чувствительности должны выполняться для обеспечения того, что расчетная ситуация, которая вызывает воздействие силой, меньше максимальной, но прикладываемая под более неблагоприятным углом, определяет конструктивное решение.

А.10.4.3.2.3.4.3 Влияние позиционирования на крепление якорей

Проушина крепления якорной линии, или соединительная планка, является критическим структурным компонентом. Чтобы соответствовать критериям усталостного сопротивления, проушина часто является составным литым наконечником и базовой конструкцией. Это позволяет избежать использования тяжелых сварных деталей, которое может в результате сократить усталостную стойкость. Проушина должна конструироваться, чтобы удовлетворить требованиям к прочности и усталости. Проушина должна конструироваться для контроля расчетных воздействий с соответствующими коэффициентами надежности. Конструирование проушины для максимального воздействия, равное коэффициенту надежности, умноженному на прочность на разрыв якорной линии, может привести к значительному завышению запаса прочности проушины, которую будет трудно скомпоновать с оболочкой якоря и дублирующими конструкциями.

Проушина якорной линии должна конструироваться для контроля расчетной ситуации, а проверки чувствительности должны выполняться для обеспечения, того, что расчетная ситуация, которая вызывает воздействие силы, меньшей чем максимальная, но используется под более неблагоприятным углом в проушине, не контролирует конструкцию. Ориентация приложенной к проушине нагрузки подвергается воздействию взаимного провисания якорной линии, вертикального несовпадения осей из-за наклона якоря, и вращательного несогласования из-за отклонения от целевой ориентации. Эти факторы необходимо надлежащим образом учитывать.

А.10.4.3.2.3.4.4 Врезание в грунт

Для врезания якоря в грунт расчетная верхняя граница давления всасывания, которое нужно для врезания якоря в грунт для расчетного внедрения, должно использоваться для проектирования стенок якоря и конструкции наконечника якоря. Тем не менее, максимальное давление всасывания должно быть выше, чем всасывание, при котором возникает подъем внутренней пробки.

А.10.4.3.2.3.4.5 Извлечение

В отношении извлечения якоря имеются два условия, которые необходимо оценить:

а) Временное условие – извлечение вакуумной сваи может потребоваться для стационарных систем позиционирования. Например, после того, как все вакуумные сваи были предварительно установлены вместе с якорными оттяжками, одна из якорных линий случайно упала в море на дно и была повреждена при соединении с судном. В это время может быть принято решение извлечь вакуумную сваю и швартовую опору. Как правило, подобные ситуации могут возникать через 30 - 60 дней после того, как была установлена первая вакуумная свая.

Для подвижных систем позиционирования вакуумные сваи часто извлекаются в конце текущих операций бурения или испытаний, и повторно используются в других местах.

б) Конечные условия – вакуумные сваи для стационарных систем позиционирования могут извлекаться в конце срока их службы.

Расчетное максимальное внутреннее давление, необходимое для извлечения якоря для этих двух ситуаций, должно использоваться для проектирования якорных стенок и заглушки якоря.

A.10.4.3.2.3.4.6 Транспортировка и разгрузочно/погрузочные работы

Вакуумная свая и ее принадлежности для монтажа должны проектироваться для максимальных воздействий, вызываемых погрузкой/разгрузкой, транспортировкой, подъемом, установкой в вертикальное положение, спуском и извлечением свай. Конструктор вакуумных свай должен тесно взаимодействовать с компанией, занимающейся установкой, когда определяются соответствующие расчетные ситуации. Проектирование вспомогательных устройств для этих расчетных ситуаций должно отвечать минимальным требованиям ISO 19902.

A.10.4.3.2.3.5 Структурный анализ

A.10.4.3.2.3.5.1 Общие положения

Анализ свай в соответствии с положениями ISO 19902 подходит для свай с отношением диаметра к толщине (D/t) менее, чем приблизительно 100 к 120. Для свай цилиндрической формы с отношением D/t , превышающим 100 к 120, рекомендуется разрабатывать подробную структурную модель методом конечных элементов для глобального структурного анализа якоря, чтобы обеспечить, что якорная стенка и принадлежности имеют адекватную прочность в самых нагруженных местах.

A.10.4.3.2.3.5.2 Модель пространственной конструкции

Модель пространственной конструкции, как правило, состоит из балочных элементов плюс другие элементы, которые нужны для моделирования специальных прочностных характеристик. Это вполне подходит для свай с отношением D/t менее, чем приблизительно 100 - 120 и предварительного конструирования верхней заглушки или дублирующих конструкций проушины на сваях большого диаметра (т.е. $D/t > 120$).

A.10.4.3.2.3.5.3 Модель конечных элементов

Метод конечных элементов рекомендуется для глобальной гильзовой структуры, пластины с верхней заглушкой и опорных элементов, а также дублирующей конструкции проушины для свай, у которых отношение D/t больше, чем приблизительно 100 - 120. Сложные формы, такие как литые проушины или сварные, также необходимо анализировать с помощью FEM.

A.10.4.3.2.3.5.4 Ручные вычисления

Ручные вычисления с использованием эмпирических формул и базовых инженерных принципов могут выполняться там, где не нужен конечно-элементный анализ.

A.10.4.3.2.3.5.5 Факторы концентрации напряжения

Факторы концентрации напряжений можно определять с помощью подробного конечно-элементного анализа, физических моделей, и других мыслительных методов или опубликованных формул.

A.10.4.3.2.3.5.6 Анализ устойчивости

Формулы для вычисления устойчивости структурных элементов при продольном изгибе представлены в ссылках [4], [148], [149] и [151]. В качестве альтернативного варианта, анализ устойчивости при продольном изгибе и анализ устойчивости после продольного изгиба, либо модельные испытания специальной оболочки или плиты, могут быть выполнены для определения устойчивости при продольном изгибе и конечной прочности.

A.10.4.3.2.3.5.7 Динамический отклик

Существенный динамический отклик не ожидается для якоря, когда он находится по месту, поэтому анкерные конструкции анализируются статически. Анализ транспортировки, тем не менее, как правило, включает динамическое воздействие, создаваемое за счет движений транспортного судна.

A.10.4.3.2.3.6 Критерии расчета прочности

A.10.4.3.2.3.6.1 Стандарты проектирования

В целом, цилиндрические элементы оболочки должны проектироваться в соответствии с ISO 19902 [4] для отношения D/t менее 120, или API 2U [148] либо DNV RP-C202 [179] (также можно использовать DNV Classification Notes 30.1 [151]) когда отношение D/t превышает 120, элементы плоской плиты проектируются в соответствии с API Bulletin 2V [149] или DNV Classification Notes 30.1, а все другие структурные элементы конструируются в соответствии с ISO 19902, насколько это применимо. В случаях, когда конфигурации конструкций или условия нагружения специально не относятся к этим кодам, могут быть использованы другие принятые нормы и правила. В этом случае конструктор должен обеспечить ситуацию, когда уровни безопасности и философия проектирования, подразумеваемая в этой части ISO 19901, адекватно выполняются.

A.10.4.3.2.3.6.2 Категории безопасности

Для расчета по допускаемым напряжениям (WSD) могут быть выделены две категории безопасности: категория безопасности А относится к нормальным расчетным ситуациям, а категория безопасности В относится к редко возникающим расчетным ситуациям, как показано в Таблице А.8.

Таблица А.8 — Критерии безопасности вакуумных свай

Расчетная ситуация	Критерии безопасности
Максимально неизменная	А
Максимум повреждена одна оттяжка	В
Врезание якоря в грунт	А
Извлечение якоря (временная)	А
Извлечение якоря (конечная)	В
Погрузка-разгрузка /подъем / спуск / извлечение	А
Транспортировка	В

А.10.4.3.2.3.6.3 Допустимые напряжения

Для структурных элементов, спроектированных в соответствии со стандартами проектирования WSD (например, API RP 2A-WSD [152]), допустимые величины напряжения, рекомендованные в этих документах, должны применяться для нормальных условий проектирования, связанных с критерием безопасности А. Для экстремальных критериев проектирования, связанных с критерием безопасности В, допустимые напряжения могут быть увеличены на одну треть.

Для конструкций с оболочками спроектированными в соответствии с API 2U, коэффициент надежности, равный 1,67 Ψ рекомендуется для режима потери устойчивости для критерия безопасности А. Для критерия безопасности В, соответствующий фактор безопасности равен 1,25 Ψ . Параметр Ψ варьируется с критическим напряжением при продольном изгибе и определен в API 2U. Он равен 1,2 для упругих напряжений при продольном изгибе при пропорциональном пределе, и понижается линейно для неэластичного продольного изгиба до 1,0, когда напряжение при продольном изгибе равно пределу пластической деформации.

Для конструкций с плоской плитой, спроектированных в соответствии с API 2V, допустимое напряжение получается путем деления предельного состояния по прочности на соответствующий коэффициент надежности, который равен 2,0 для критерия безопасности А, и 1,5 для критерия безопасности В.

Для цилиндрических элементов с отношением D/t , превышающих примерно 100 -120, рекомендуется проанализировать глобальную прочность с использованием FEM. Формулы локального продольного изгиба для осевого сжатия, изгиба и гидростатического давления, указанного в ISO 19902 (для $D/t < 120$) и API 2U, или DNV RP-C201 (DNV Classification Notes 30.1) (для $D/t \geq 120$), считаются действительными, если надлежащий анализ выполнен в отношении варьируемой толщины стенок и длины продольного изгиба (которая может простираться ниже уровня морского дна, при выполнении анализа врезания в грунт за счет засасывания).

Номинальное напряжение Генки-Мизеса (эквивалент) крайнего волокна компонента не должно превышать максимально допустимого напряжения, как указано в Уравнении (А.27):

$$\sigma_A \leq \eta_i \sigma_y \quad (\text{А.27})$$

Где:

σ_A - номинальное напряжение Генки-Мизеса;

η_i - расчетный фактор для указанной расчетной ситуации;

σ_y - указанный минимальный предел текучести для материала якоря.

Значения расчетного фактора для указанных расчетных ситуаций, которые определены на основе FEM приведены в Таблице А.9.

Таблица А.9 — Конструктивный параметр для анализа конечных элементов

Расчетная ситуация	Конструктивный параметр η_i
Максимально неизменная	0.67
Максимум повреждена одна оттяжка	0.90
Врезание якоря в грунт	0.67
Извлечение якоря (временная)	0.67
Извлечение якоря (конечная)	0.90
Погрузка-разгрузка /подъем / спуск / извлечение	0.67
Транспортировка	0.90

Конструктивные параметры, рекомендованные в Таблице А.9, представляют собой предельные значения по первичным напряжениям конструкций, которые возникают в результате воздействий. Следует помнить, что первичные напряжения не являются самоограничивающимися; т.е. первичные напряжения, превышающие напряжение текучести спорного материала, могут привести к отказу.

Вторичные напряжения, с другой стороны, могут формироваться локальными структурными линиями разрыва или ограничениями соседних частей. Такие напряжения являются самоограничивающимися. В некоторых случаях допускается превышение предела текучести на сдвиг материала для вторичных напряжений при расчете по допускаемым напряжениям. Когда локальная текучесть превышает, то материал должен иметь достаточную деформируемость, чтобы обеспечить адекватное перераспределение в соседние участки конструкции.

A.10.4.3.2.3.7 Расчет усталостной прочности

A.10.4.3.2.3.7.1 Усталостный анализ

Усталость конструкции якоря по месту вызывается циклическим нагружением типа «натяжение-натяжение» якорной линии, прикрепленной к якорю. Усталостный анализ для якорей кессонного типа аналогичен анализу системы позиционирования, как это обсуждалось в Статье 9. Основное различие заключается в следующем.

а) Подход S-N (диапазон напряжений в зависимости от количества циклов до отказа) рекомендуется для усталостного анализа якорей кессонного типа вместо подхода T-N (нормализованный диапазон натяжения в зависимости от количества циклов до отказа), используемого для системы позиционирования. Должны быть использованы соответствующие формулы для кривой S-N, которые включают эффект толщины детали.

б) Нормализованные диапазоны натяжения из усталостного анализа системы позиционирования преобразуются в диапазоны напряжения для якорей кессонного типа на основе уточненного FEM.

Усталость необходимо проверять не только на стыках, но также в любых деталях с высоким SCF, например литая проушина у основания соединительной планки, и в рыме.

A.10.4.3.2.3.7.2 Требование по усталостной стойкости

Коэффициент запаса усталостной прочности для анкерных свай должен соответствовать требованиям 10.5.

A.10.4.3.2.4 Монтаж

Чтобы верифицировать успешную установку вакуумной сваи и ее согласованность с проектными допущениями для стационарных и подвижных систем позиционирования, должен проводиться мониторинг и регистрация следующих данных в ходе установки сваи:

- Расстояние от заданного места на морском дне;
- Пониженное давление;
- Глубина проникновения;
- Скорость проникновения;
- Вертикальность;
- Ориентация.

Для стационарных систем позиционирования другие параметры, как правило, отслеживаются, и включают устойчивость глухой пробки на всех глубинах, а также подъем пробки в точке конечного проникновения.

A.10.4.4 Другие типы якорей

A.10.4.4.1 Гравитационные якоря

Указания отсутствуют.

A.10.4.4.2 Якорные плиты

A.10.4.4.2.1 Геотехнические конструктивные решения

A.10.4.4.2.1.1 Основные факторы

Для якорных плит конечная удерживающая способность часто определяется, как предельная несущая способность сваи на выдергивание (UPC), которая представляет собой силу в якорной оттяжке, в которой обрушивается грунт вокруг якоря. При UPC, якорная плита начинает двигаться через грунт в общем направлении якорной линии и сопротивление больше не возрастает, или постепенно оно даже уменьшается. Тем не менее, для некоторых конструкций якорная плита начинает погружаться глубже при перегрузке (т.е., сила якорной линии на якоре больше чем UPC, пока якорь не достигает более прочный слой грунта, где перегрузке можно противостоять).

UPC является функцией:

- Недренированного напряжения сдвига грунта на лапе якоря,
- Расчетной площади лапы,
- Формы лапы,
- Коэффициента несущей способности, и
- Глубины проникновения.

При определении UPC, необходимо учитывать нарушение грунта из-за обрушения. Это нарушение в целом учитывается в форме эмпирического коэффициента уменьшения. Этот коэффициент основывается на надежных испытательных данных и данных соответствующих исследований [34]. Обычно, чтобы сгенерировать режим глубокого обрушения, глубина проникновения якорной плиты в глину должна быть примерно в 4,5 раза больше ширины лапы. Если окончательная глубина не создает режим глубокого обрушения, то коэффициент несущей способности должен быть уменьшен соответственно (см. например, ссылку [34]).

Якорные плиты получают свою высокую удерживающую способность за счет проникновения в более прочный грунт. Поэтому важно, чтобы глубина проникновения якоря была определена в ходе установки.

Метод проектирования, который может применяться ко всем типам якорных плит в глине описан в ссылке [34]. Различные типы якорей различаются по методу установки, но в конечном итоге все они оказываются в том же месте, что и якорные плиты после вращения/ закрепления/ торможения.

Важно верифицировать путем измерений глубину установки всех типов якорных плит, т.е. что эта глубина соответствует целевой глубине установки якоря. В ходе последующего вращения/закрепления, как правило, наблюдается потеря глубины проникновения, которую необходимо учитывать при определении целевой глубины установки.

Якорная плита достигает своей UPC за счет ориентации своей лапы почти перпендикулярно направлению приложенной нагрузки. Чтобы обеспечить вращение лапы для достижения максимальной запроецированной несущей поверхности (процесс называется закрепление/торможение), конструкция якорной плиты и процедура установки должны:

а) как часть процедуры установки, гарантировать вращение лапы до положения, которое обеспечивает, что, когда якорь подвергается более высокому натяжению в ходе проектного события, то лапа продолжает вращаться в положении, перпендикулярном направлению приложенного натяжения,

б) обеспечить отсутствие существенных потерь проникновения при вращении якоря, который может переместить лапу в менее прочный грунт. Способность выдергивания якорных плит, которые частично проникли в более плотный/твердый подстилающий слой, расположенный ниже мягкого, должна учитывать влияние более мягкого перекрывающего слоя на долговременную способность. Особое внимание надо обращать на потерю проникновения в процессе вращения/закрепления/торможения в таких ситуациях;

с) иметь структурную целостность для длительного восприятия вращения лапы вокруг горизонтальной и вертикальной оси, в зависимости от типа якорной плиты, и его ориентации при установке.

Коэффициенты запаса прочности применительно к удерживающей способности даны в Таблице 8 в 10.4.4.

A.10.4.4.2.1.2 Метод прогнозирования для заглубляемого протаскиванием якорной плиты

A.10.4.4.2.1.2.1 Общие положения

Следующие аспекты волочения заглубляемого протаскиванием якорной плиты должны быть определены:

- механика якорной линии;
- параметры установки;
- параметры удерживающей способности.

Все три аспекта тесно связаны и влияют друг на друга, как описывается в последующих разделах.

A.10.4.4.2.1.2.2 Механика якорного каната

Как обсуждалось в ссылках [34], [143] и [144], механика якорной линии сильно влияет на конечную ориентацию якорной плиты, заглубляемого протаскиванием и глубину ниже морского дна, которая, в свою очередь, определяет удерживающую способность якорной системы. На Рисунке A.24 дана схема конфигурации якорной линии, показывающая взаимнообратное провисание линии по мере ее прохождения через грунт. По мере увеличения натяжения линии, якорь продолжает проникать в грунт и взаимнообратное провисание врезавшейся в грунт линии увеличивает линейный угол в точке крепления якоря. Чем глубже проникает якорь, тем больше становится угол в точке крепления якоря, и, в конечном итоге, предел проникновения превращается в постоянное волочение якоря без дальнейшего увеличения натяжения.

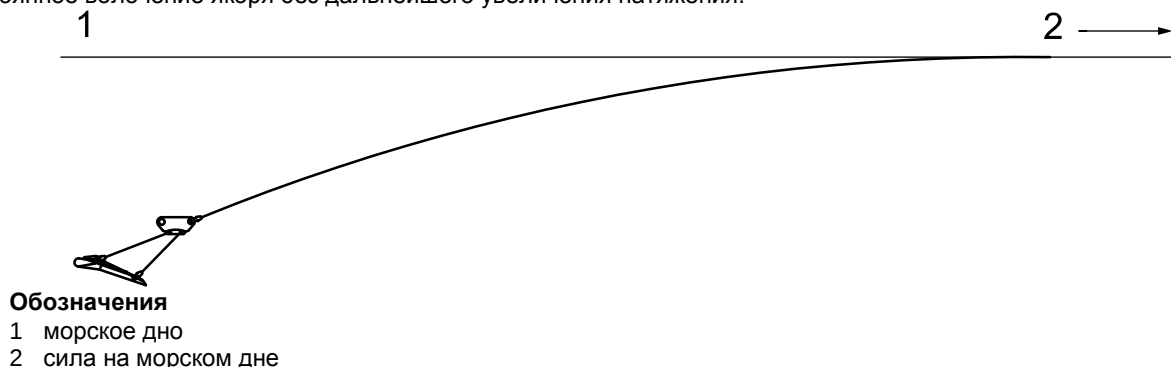


Рисунок 24 — Схема конфигурации якорной линии при врезании в грунт

В целом, к решению этой проблемы подходят аналогично тому, как прогнозируют перемещенную форму цепной линии, закрепленной с обеих концов, и деформированной от собственного веса плюс опорного давления, прикладываемого от нормали грунта к линии, а также сопротивление сдвигу, тангенциальное линии. Определяющие дифференциальные уравнения для этой системы сил являются нелинейными и требуется итеративное численное решение.

A.10.4.4.2.1.2.3 Рабочие параметры установки

Как это обсуждалось в ссылках [34], [143] и [144], способность заглубляемого протаскиванием якорной плиты сильно зависит от его конечной ориентации и глубины ниже морского дна, поэтому прогнозирование траектории якоря в ходе установки является очень важным аспектом. На Рисунке A.25 дана диаграмма, показывающая типичную траекторию якоря, а также последовательность и ориентацию якоря по мере волочения якорной линии вдоль морского дна.

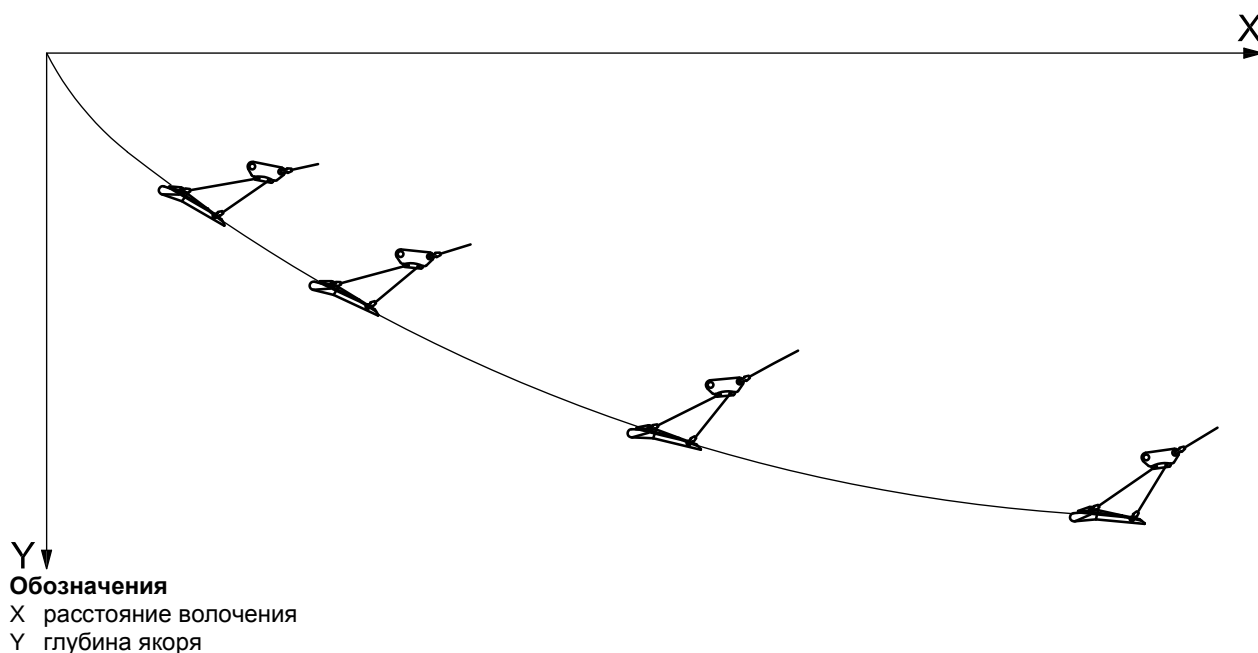


Рисунок 25 — Траектория якоря и ориентация лапы в ходе установки

Методы прогнозирования этой траектории подпадают под одну из следующих четырех групп.

а) Эмпирические методы: эти методы в основном базируются на корреляциях с наблюдаемыми рабочими параметрами якоря, и зависят от характеристик якоря (вес) и соответствующей меры сопротивления грунта. Тем не менее, многие из этих полевых исследований отсутствуют в открытых источниках.

б) Методы на основе предельного равновесия: эти методы учитывают более подробное описание грунта и геометрию/вес якоря. Методы основаны на расчетном распределении реакции грунта на якорь при обрушении. Информация по грунту, специфичному для конкретной площадки, а также подробная информация по якорю, может быть включена в расчеты. Этот подход наиболее часто используется, а также имеется коммерческое программное обеспечение на основе этого подхода (см. ссылку [153]).

с) Анализ на основе предела пластичности: этот метод сходен с методами на основе предельного равновесия. Виртуальные принципы работы используются, чтобы минимизировать вычисленные способности обрушения по отношению к геометрическим параметрам, которые определяют механизм обрушения при любой глубине якоря, ориентации якоря, и условий якорной линии.

д) Передовые численные методы, включая FEM. Эти методы обладают потенциалом для получения четкого решения по всем аспектам поведения якоря. На практике, однако, они имеют существенные ограничения. Полное решение будет предусматривать определение на основе FEM нелинейного поведения материала, нелинейных граничных условий, и теории сильного напряжения и пластической деформации. Поэтому, даже простой прогноз траектории якоря требует существенных усилий для формулирования, построения, и решения. Тем не менее, FEM может использоваться для проверки вычислений или улучшения других методов прогнозирования.

A.10.4.4.2.1.2.4 Параметры удерживающей способности

Как обсуждалось в ссылках [34], [143] и [144], удерживающая способность якоря является лишь специальным случаем последовательности установки и, поэтому, методы, лежащие в основе прогнозирования монтажа, описанного выше, можно прямо использовать. При условии, что глубина проникновения якорной плиты известна, а глина однородная (не переслаивающаяся), конечная удерживающая способность может быть выражена на основе стандартной теории несущей способности вместе с решением якорной линии:

$$F_{\max} = N_c A_{\text{eff}} \eta s_{u,\text{ave}} \quad (\text{A.28})$$

Где:

$F_{\max}$ - конечная удерживающая способность;

A_{eff} - эффективная площадь якоря, учитывающая форму и проектируемую площадь;

N_c - определенный коэффициент несущей способности, например, на основе метода характеристик или конечноэлементного решения.

η - эмпирический коэффициент уменьшения, учитывающий прогрессивное обрушение (деформационное размякание) при нагружении в направлении обрушения; см. обсуждение этого коэффициента в ссылке [34];

$s_{u,\text{ave}}$ - мера локальной усредненной недренированного напряжения сдвига в зоне обрушения на расчетной глубине проникновения, скорректированная на эффект циклического нагружения, см. ссылку [34].

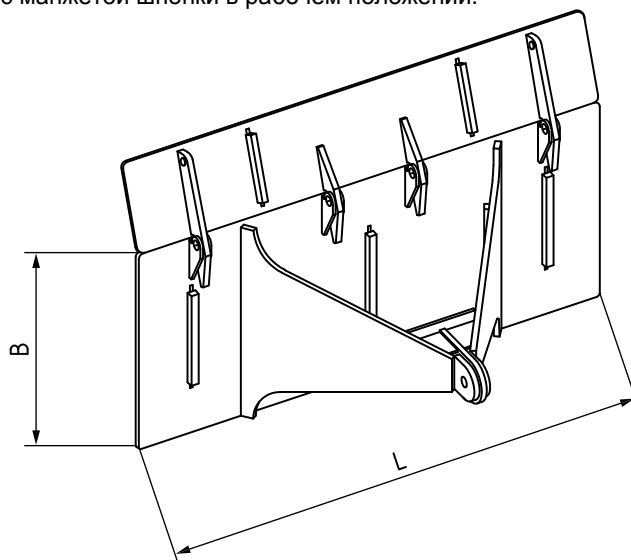
Для переслаивающейся глины конечная удерживающая способность будет зависеть от положения якоря по отношению к границе слоя; см. ссылку [34].

В целом нужен серьезный анализ и опыт для оценки входных параметров любого метода прогнозирования. Пример анализа якоря см. в ссылках [145] и [154].

А.10.4.4.2.1.3 Метод прогнозирования для якорных плит, прямо врезающихся в грунт

Определение удерживающей способности якоря для якорных плит, прямо врезающихся в грунт аналогично тому, что было показано для якорей, врезающихся в грунт, за исключением следующего:

- Конечная глубина проникновения точно известна;
- Номинальная потеря проникновения в ходе закрепления должна быть включена (обычно берется как 0,25 умноженная на 1,0 вертикального размера лапы, или В на Рисунке А.26, в зависимости от конфигурации веретена и манжеты шпонки);
- В вычислении эффективной площади лапы должен использоваться соответствующий фактор формы и проектируемой площади лапы с манжетой шпонки в рабочем положении.



Обозначения

В ширина

L длина

Рисунок 26 — Определение размеров лапы якоря

А.10.4.4.2.1.4 Коэффициенты надежности для врезающихся в грунт якорных плит

Коэффициенты надежности для врезающихся в грунт якорных плит выше, чем для врезающихся в грунт якорей, поскольку перегрузка якорных плит в нормальных условиях приводит к выдергиванию, в то время, как якоря, глубоко заглубляемые протаскиванием (глину) от мягкого – до прочного, либо врезаются горизонтально или закапываются глубже, таким образом создавая постоянные или повышенные удерживающие способности (см. Таблицу 8 в 10.4.4). Для якорных плит, которые демонстрируют сходное с якорями, врезающимися в грунт поведение перегрузки, необходимо учитывать коэффициенты надежности якорей, врезающихся в грунт, допуская, что поведение может быть верифицировано посредством соответствующих полевых испытаний и опыта.

А.10.4.4.2.2 Установка

А.10.4.4.2.2.1 Прямо врезающиеся якорные плиты

Прямое врезание якорных плит может быть достигнуто засасыванием, ударным или вибрационным молотом, взрывчатým веществом (ВВ), гидравлическим домкратом, или гравитацией (см. А.11.1.6.5.2).

Процедуры установки должны разрабатываться и должны проводиться анализы по установке для прямо врезающихся якорных плит с целью верификации, что якоря могут врезаться на расчетную глубину. В анализе установки также должны учитываться аспекты извлечения якорных плит, если это применимо.

В отношении анализа врезания в грунт необходимо учитывать риск подъема грунтовой пробки внутри засасывающего инструмента. Допустимое пониженное давление, чтобы не допустить подъем должно превышать необходимое давление врезания в грунт на коэффициент 1,5 (см. А.10.4.3.2.2.1.4).

Допуски установки якорной плиты должны быть определены и учитываться в геотехнических, прочностных и монтажных проектных решениях. Стандартные допуски должны быть следующими:

- Допустимое отклонение от целевого курса крепления якорной линии с целью ограничения боковых нагрузок и вращательных моментов на проушине якоря;
- Минимальное проникновение, которое требуется перед закреплением или нагружением испытательной нагрузкой для достижения необходимой удерживающей способности;
- Допустимая потеря проникновения якоря в процессе закрепления или нагружения испытательной нагрузкой.

Чтобы верифицировать, что установка плиты прошла успешно и согласуется с проектными допущениями, параметры, перечисленные в А.10.4.3.2.4, также должны быть записаны.

A.10.4.4.2.2 Заглубляемые протаскиванием якорные плиты

Для врезающихся в грунт якорных плит, используемых в стационарных системах позиционирования, конструкция якорей должна предусматривать адекватную информацию по установке, чтобы обеспечить, что якорь достигает целевой глубины проникновения, таким образом выполняя требования безопасности, предъявляемые к системе позиционирования для реальных грунтов и расчетных ситуаций. Типичная информация, которую необходимо верифицировать и отслеживать включает следующее:

- а) Натяжение линий при установке якоря, заглубляемого протаскиванием в зависимости от времени;
 - б) Форма кривой провеса установочного троса на основе натяжения линии и длины линии для верификации того, что подъем на морском дне в процессе погружения в грунт находится в допустимых пределах, а также верифицировать положение якоря;
 - в) Направление погружения якоря;
 - г) Конечная глубина проникновения якоря (не обуславливается поломкой предохранительной чеки).
- В отношении дополнительных указаний см. ссылку [34].

A.10.4.5 Удерживающая способность цепи и стального троса

Коэффициенты трения о морское дно зависят от параметров морского дна в месте установки якоря, а также типа якорной линии. Обобщенные коэффициенты трения для цепи и стального троса приведены в Таблице А.6. Коэффициенты начального трения в нормальных условиях используются для вычисления удерживающей способности линии и сил на оттяжку при развертывании. При отсутствии данных лучшего качества, коэффициенты в Таблице А.5 могут использоваться для различных донных условий, таких как вязкий грунт, песок и глина.

Таблица 14 — Коэффициенты трения морского дна для цепи и стального троса

Тип линии	Начало	Скольжение
Цепь	1,00	0,70
Стальной трос	0,60	0,25

A.10.4.6 Натяжение при установке якоря

A.10.4.6.1 Общие положения

A.10.4.6.1.1 Якоря, заглубляемые протаскиванием

В DNV-RP-E301 [33] даются альтернативные рекомендации по определению натяжения якоря при монтаже.

A.10.4.6.1.2 Вакуумные сваи и якорные плиты

Применительно к вакуумным сваям и якорным плитам записи по монтажу должны демонстрировать, что внедрение якоря находится в диапазоне прогнозируемой верхней и нижней границы проникновения, разработанных в ходе геотехнического проектирования якоря. Кроме того, записи по монтажу должны подтвердить поведение при монтаже, т.е. проникновение под действием собственного веса, величины давления проникновения, силы проникновения в грунт, а также то, что ориентация якоря согласуется с конструкцией якоря. В этих условиях испытательное нагружение якоря в соответствии с п. 10.4.6.1 не требуется. Тем не менее, конструкция системы позиционирования конструкция якоря должны определять минимально приемлемый уровень испытательной нагрузки. Эта испытательная нагрузка должна обеспечить, что взаимнообратная кривая провисания линии сформировалась достаточно, чтобы не допустить неприемлемое ослабление якорной линии из-за дополнительных изменений формы погруженной части линии и/или взаимнообратной кривой провисания в штормовых условиях.

Якорные плиты должны подвергаться адекватным заклинивающим воздействиям (нагрузкам), чтобы обеспечить наличие вращения лапы якоря, а также то, что сопутствующая потеря глубины проникновения находится в пределах, которые прогнозировались и учитывались в технических условиях по целевой глубине проникновения. Необходимое заклинивающее натяжение, а также величина расчетного вращения лапы должны основываться на достоверном геотехническом анализе и должны быть верифицированы с помощью прототипа или испытаний масштабной модели. Анализ сцепления, используемый для определения натяжения зацепления, должен также включать в себя анализ вращения якоря, когда он подвергается натяжению в неизменном предельном состоянии ULS и контроле по избыточности. Если вычисленное вращение якоря в ходе зацепления отличается от вращения якоря в ходе контроля по избыточности, то конструкция якоря должна быть приспособлена для любого несоответствующего результирующего нагружения, чтобы обеспечить, что структурная целостность якоря не нарушена.

В случаях, когда в записях по монтажу регистрируется существенное отклонение от прогнозных значений, и эти отклонения показывают, что удерживающая способность якоря нарушается, может потребоваться испытательное нагружение якоря в соответствии с п.10.4.6.1. Это может быть приемлемым вариантом для подтверждения удерживающей способности для временных систем позиционирования. Тем не менее, испытание якорей на натяжение, используемое в проверке при неизменном состоянии ULS, не обязательно подтверждает то, что необходимые факторы надежности для удержания якоря соблюдены, и это представляет особую проблему для стационарных систем позиционирования. Поэтому, если записи по монтажу показывают, что удерживающая способность якоря значительно меньше, чем вычисленная, и коэффициент надежности не соответствует, то нужно предпринять следующие меры для обеспечения адекватных значений коэффициентов надежности :

— Дополнительные исследования грунта в месте установки якоря для установления и/или подтверждения свойств грунта в месте установки якоря;

- Извлечение и повторная установка якоря в новом ненарушенном месте;
- Извлечение якоря и изменение конструкции якоря, чтобы он соответствовал требованиям проекта, а также повторная установка якоря в ненарушенном месте;
- Отложить присоединение судна/плавучего сооружения, чтобы обеспечить дополнительное уплотнение грунта.

Заглубляемые протаскиванием якорные плиты должны быть проверены испытательным нагружением в соответствии с А.10.4.6.1, если только не выполнено хотя бы одно из следующих условий:

- а) Натяжение при установке якоря (натяжение врезки в грунт) равно или больше испытательного натяжения для якоря (см. 10.4.6), и якорь не захвачен в противоположном направлении,
- б) Свойства грунта в месте установки якоря были определены в соответствии с А.7.2.3, и глубина якоря после захватывания известна с приемлемой точностью и равна или больше минимальной глубины, использованной при проектировании якоря.

Дополнительные указания относительно эффектов монтажа на глубину проникновения якорных плит, захватывания якоря и вращения, а также методов верификации глубины проникновения на момент монтажа, см. в ссылке [34].

А.10.4.6.2 Стационарные системы позиционирования

Основная функция якоря в стационарной морской системе позиционирования состоит в удерживании нижнего конца якорной линии на месте во всех расчетных ситуациях. Если волочение якоря является недопустимым и экстремальное натяжение линии заставляет якорь волочиться, то якорь не смог выполнить свою функцию. Однако, ограниченное волочение якоря не обязательно приводит к полному отказу системы позиционирования, хотя для стационарных систем позиционирования рабочие характеристики якоря при перегрузке должны оцениваться.

Технические условия натяжения в момент установки якоря наиболее важны, когда условия грунта подпадают под категории, описанные в Варианте 1 и Вариант 2 в А.10.4.2.1, в котором якоря не проникают глубоко. В этих случаях, не стоит полагаться на эффекты после монтажа (уплотнение грунта и циклические эффекты), которые приводят к более высокому натяжению после монтажа, чем если бы якоря были внедрены в мягкую глину (Вариант 3 в А.10.4.2.1). Для стационарных систем позиционирования необходимо учитывать предварительно заданные якоря (например, анкерные сваи), если указанное натяжение при установке нельзя обеспечить с помощью лебедок на плавучем сооружении.

Натяжение при монтаже должно измеряться с помощью надежной калиброванной системы и документально оформляться. См. ссылку [33] в отношении указаний по планированию и выполнению монтажа врезающихся в грунт якорей.

А.10.5 Коэффициент запаса усталостной прочности

Минимальный коэффициент запаса усталостной прочности учитывает неопределенности в прогнозировании долговечности натяжения, разброс данных по кривой Т-Н, аппроксимации теории линейных повреждений, и эффект многочисленных компонентов системы позиционирования, которые подсоединены последовательно. Этот коэффициент согласуется с применением репрезентативных кривых Т-Н, представленных в Статье **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Для динамики развития усталости, которая представляет собой срок службы, вычисленная усталостная стойкость (инверсия годовых повреждений, которая определена в соответствии со Статьей **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) любого компонента системы должна превышать расчетный срок службы, умноженный на коэффициент запаса усталостной прочности.

Формула для определения коэффициента запаса усталостной прочности для использования методом кривых S-N, описанном в А.9.1, представлена в виде Уравнений (А.15) и (А.16) **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Дополнительная информация по коэффициентам запаса усталостной прочности и надежности для ряда систем позиционирования представлена в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Исследование надежности показывает, что кривые Т-Н, объединенные с расчетным коэффициентом надежности 3 и с использованием метода простого суммирования (10.3.3.2), позволят получить расчет усталостной прочности с приемлемой вероятностью отказа (подробности см. в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Поскольку уклон кривой Т-Н для цепей с/без контрфорсов лежит вне 95 % доверительного интервала на основе регрессивного анализа на основе имеющихся испытательных данных, то кривые Т-Н на основе регрессивного анализа испытательных данных, представленные в ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, также могут учитываться, см. ссылку **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

А.10.6 Коррозия и износ

Дополнительная информация по допускам на коррозию для цепей, стальных тросов и других компонентов можно найти в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Гальваническая защита для цепей с анодами была разработана, но не получила широкого распространения из-за сравнительно небольшого срока службы (около 5 лет), сложности и высокой стоимости.

Коррозия проволоки в местах соединений с розетками может усилиться за счет того, что гальванизированная проволока действует как анод для соседних компонентов. Для стационарных систем позиционирования рекомендуется электрически изолировать либо проволоку от розетки, или изолировать розетку от соседних компонентов. Дополнительную защиту от коррозии можно обеспечить установив

протекторные аноды на этом участке (см. в качестве примера BV NR 423 и DNV RP B401 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

A.10.7 Зазоры

Указания отсутствуют.

A.10.8 Вспомогательные конструкции

Указания отсутствуют.

A.11 Швартовое оборудование

A.11.1 Компоненты якорных линий

A.11.1.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

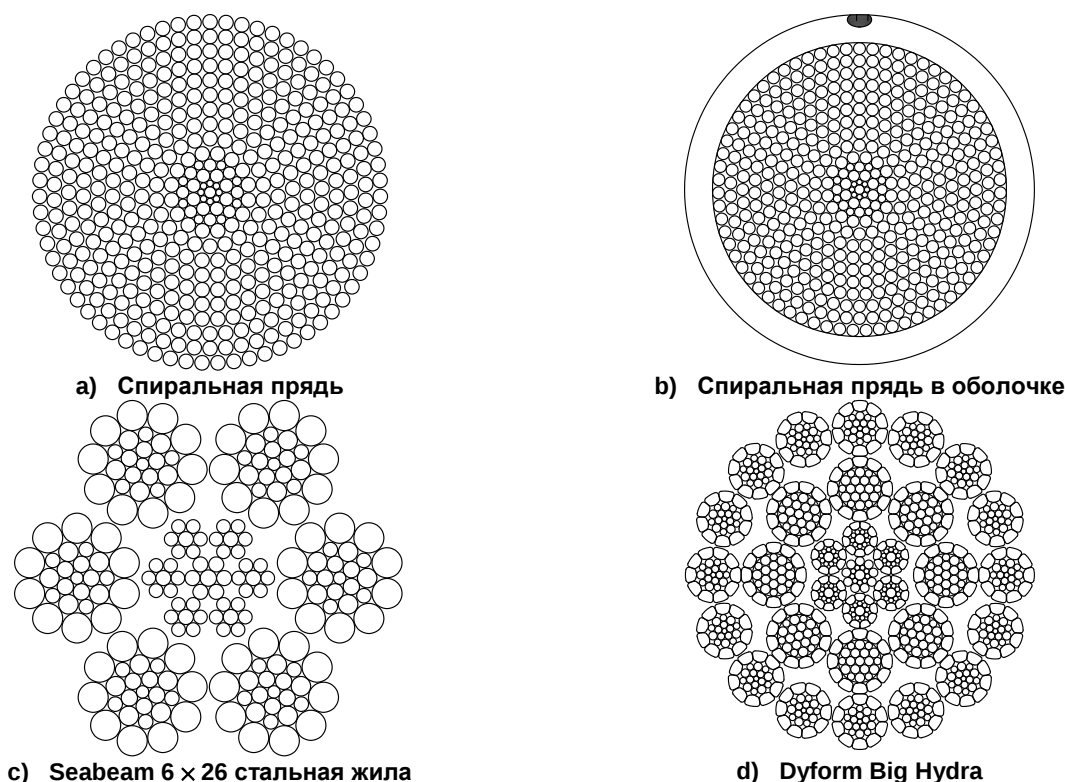
A.11.1.2 Стальной трос

Секции якорных линий, изготовленные из стальных тросов, могут быть различных конструкций, как показано на Рисунке A.27. Конструкция стального троса включает ряд прядей, скрученных в одном и том же направлении вращения вокруг центральной жилы для образования каната. В противоположность шестипрядевому канату, спиральная прядь (не вращающаяся) и многопрядевая (малое вращение) конструкции привлекательны для использования со стационарными системами позиционирования, поскольку они не создают значительного крутящего момента при изменении натяжения. Обе эти конструкции используют слои проволоки (или бухты проволоки), намотанные в противоположных направлениях для получения характеристик устойчивости вращению. Количество прядей и проволоки в каждой пряди обусловлено несколькими физическими аспектами, включая диаметр пряди, размер проволоки, и т.д., а также результирующий эффект на прочность, жесткость и усталостную прочность каната. Эта конструкция создает крутящий момент по мере увеличения натяжения.

Для защиты от коррозии в стационарных системах позиционирования, как правило, используются материалы для оболочки из полиэтилена или полиуретана на канате из спиральных прядей, который должен иметь высокую плотность. Вся проволока должна быть гальванизированной. Оцинкованная заполняющая проволока иногда включается, чтобы обеспечить дополнительную защиту от коррозии. Заполняющий материал используется для блокирования внутреннего пространства между проволоками для минимизации распространения коррозии из-за попадания соленой воды. Не является широко распространенной практика увеличения диаметра проволоки в якорных оттяжках для борьбы с коррозией и износом. Тем не менее, в нескольких стационарных системах позиционирования с якорными оттяжками с проволокой без оболочки диаметр канатов, как правило, увеличен на 0,1 - 0,2 мм за год эксплуатации с целью защиты от коррозии и износа.

Концы каждой секции якорной линии должны быть снабжены канатными замками. Связующие вещества (смолы) должны заполнять замки. Для стационарных систем позиционирования, канатные замки должны быть снабжены гибкими разгрузочными колодками (устройства, ограничивающие изгибание) соединенные с канатным замком таким образом, чтобы препятствовать поступлению воды и ограничить усталость от свободного изгиба. Тщательный контроль качества и испытания должны выполняться перед, и в ходе изготовления каната, чтобы обеспечить выполнение требований проектных спецификаций и соответствие требованиям MBS конечного продукта.

Дополнительная информация дана в ISO 10425 [180] и ссылке [178].



С разрешения Bridon)

Рисунок 27 — Различные конструкции стальных тросов

А.11.1.3 Цепь

Ссылка дается на IACS W22 Rules **Ошибка! Источник ссылки не найден.** или RCS Rules **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, [177].

Выбор материала и изготовление цепи большого диаметра для пришвартованной конструкции требует тщательной оценки. Цепь, изготовленная для такого применения, должна быть непрерывной длины. Таким образом устраняется необходимость в соединительных звеньях для цепи и решается проблема с усталостью. В противном случае должны использоваться соединительные звенья с необходимой усталостной прочностью.

А.11.1.4 Соединительные звенья

Дается ссылка на IACS W22 Rules **Ошибка! Источник ссылки не найден.** или RCS Rules **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. В отношении литых и штампованных компонентов см. ссылки [175] и [176].

Соединительные звенья, такие как смычки, вертлюги, стыковые накладки и разъемные звенья используются для соединения основных компонентов якорных линий. Соединительные звенья, как звенья Кентера и Болдта часто применяются в подвижных системах позиционирования. Они могут проходить через направляющие блоки цепей и лебедки-брашпиль, и их можно периодически осматривать и менять.

А.11.1.5 Пружинные буи

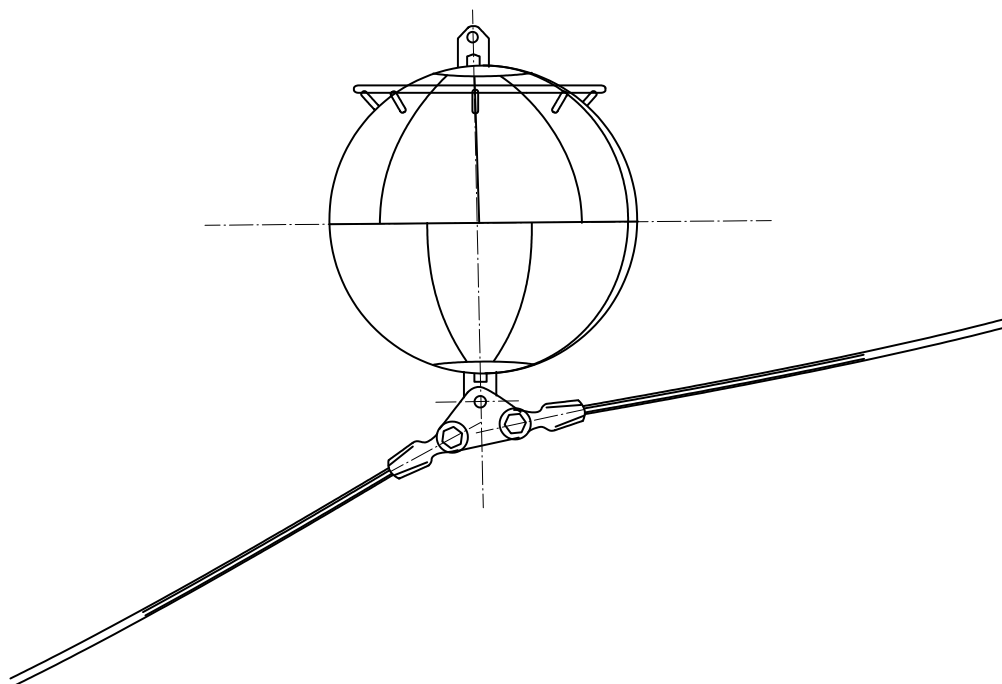
Признанные стандарты работы под давлением для глубинных пружинных стальных буйев, предназначенных для наружного давления включают ASME VIII Div.1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и EN 13445 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Расчетный коэффициент надежности на уровне 1,5 - 2,0 рекомендован для критических, долговременных стационарных систем позиционирования с высокими эксплуатационными характеристиками; а коэффициент на уровне 1,2 - 1,5 рекомендуется для буйев общего назначения в умеренных эксплуатационных условиях (например, для временной системы позиционирования в умеренных условиях окружающей среды).

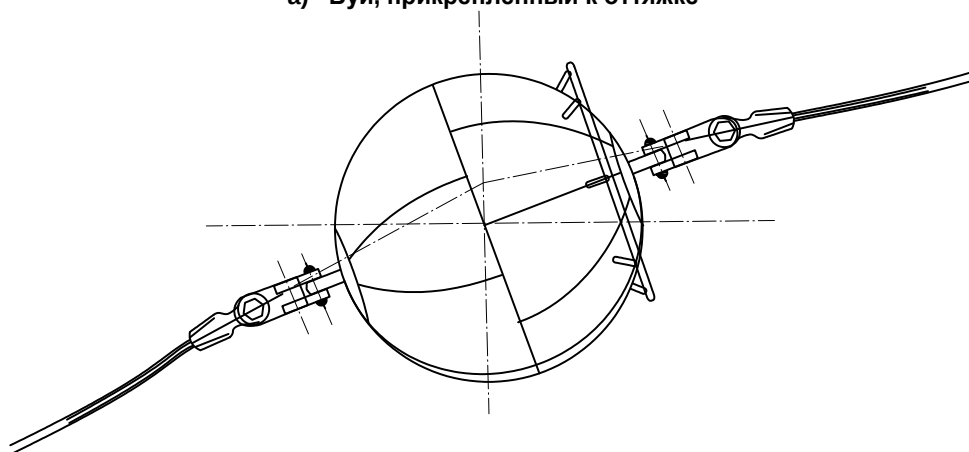
Пружинные буи, используемые с стационарными системами позиционирования, могут быть изготовлены из стали или сочетания пригодных синтетических материалов, окружающих стальную конструкцию. Высокоплотный пенный материал (стеклянные сферы в корпусе пенного материала высокой плотности) был успешно применен с целью обеспечения плавучести для глубоководных буровых и эксплуатационных райзеров и поплавков для гибких райзеров. Было признано, что стальные буи являются оптимальными по соотношению «цена-качество».

Буй могут изготавливаться сферической формы, (обычно), не обладающими высокой жесткостью, или в виде цилиндрической оболочки с кольцевыми ребрами жесткости со сферическими наконечниками. Буй могут размещаться на одной линии с системой позиционирования (с несущим элементом, проходящим сквозь буй) или крепиться отдельно к оттяжке посредством триметаллической пластины, как показано на Рисунке А.28. Когда используется вариант буя в направлении линий, то необходимо соблюдать осторожность и допускать вращение на концевых соединителях. Дополнительные рекомендации по конструированию швартовых буюв см. в BV NR 494 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Буй должны быть спроектированы, чтобы иметь адекватную прочность для максимальной глубины эксплуатации. При изготовлении буюв все сварочные операции должны испытываться с использованием соответствующих мер неразрушающего контроля. Также должна быть обеспечена адекватная защита от коррозии.



а) Буй, прикрепленный к оттяжке



б) Буй на одной линии с оттяжкой

Рисунок 28 — Конфигурации погружных буюв

А.11.1.6 Якоря

А.11.1.6.1 Якоря, заглубляемые протаскиванием

Традиционные якоря, заглубляемые протаскиванием (Рисунок А.29) первоначально применялись для подвижных швартовых операций. Технология якорей, врезающихся в грунт, существенно продвинулась вперед за последние годы. Конструирование и испытания показывают, что новое поколение якорей, врезающихся в грунт с неподвижной лапой создает высокую удерживающую силу даже в условиях мягкого грунта. Высокоэффективные заглубляемые протаскиванием якоря, обычно, считаются привлекательным вариантом для швартовых операций, поскольку их легко устанавливать, и они подтвердили свою производительность. В действительности многие существующие стационарные и подвижные системы позиционирования используют

якоря, заглубляемые протаскиванием. Якорная секция якорной линии может быть установлена предварительно и нагружена испытательной нагрузкой перед постановкой плавучего сооружения.

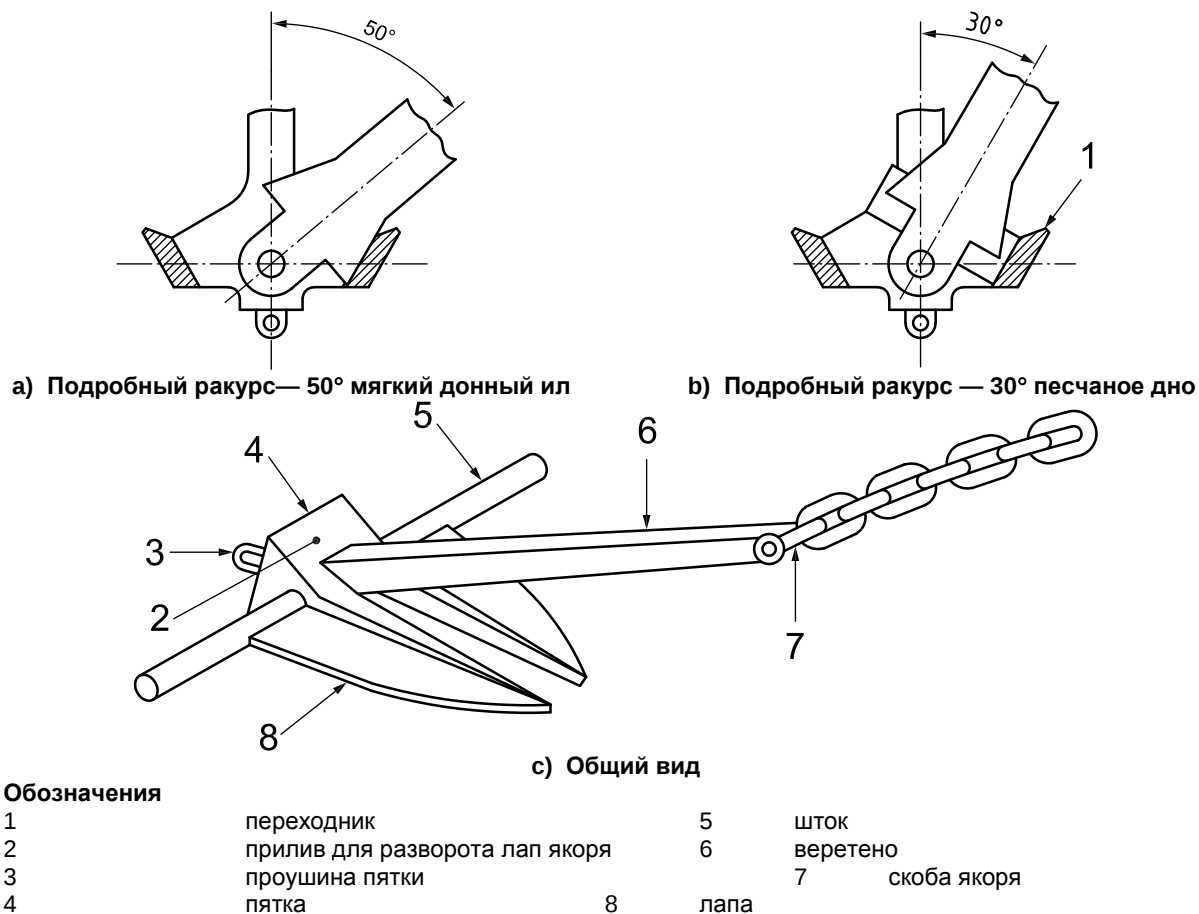


Рисунок 29 — Традиционные якоря, заглубляемые протаскиванием

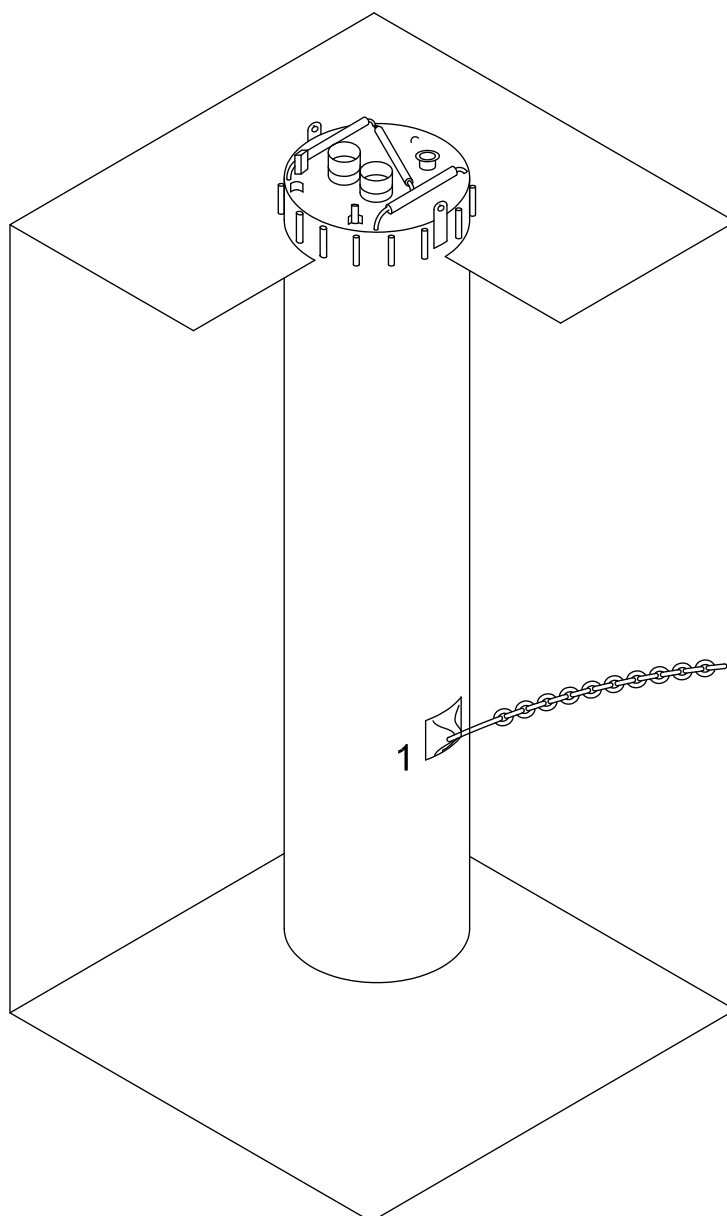
А.11.1.6.2 Забивные анкерные сваи

Сопротивление забивных анкерных свай подъему и боковому нагружению, в основном, обусловлено размерами свай, характером установки и нагружения свай, а также типом, жесткостью и прочностью грунта, расположенного рядом со сваями. Горизонтальная способность может быть существенно увеличена за счет добавления специальных элементов, таких как юбки и крылья на верхнюю часть свай. Забивные анкерные сваи могут быть предназначены для усиления бокового и вертикального сопротивления, и со временем становятся очень устойчивыми. Забивные анкерные сваи устанавливаются с помощью молотов для забивания морских свай.

Гидромониторная прокладка, бурение и цементация используются для других типов анкерных свай. Установка свай гидромониторной прокладкой, бурением или цементацией может выполняться стандартной буровой установкой без серьезных модификаций. Тем не менее, нарушение грунта в ходе гидромониторных и буровых операций должно четко оцениваться.

А.11.1.6.3 Кессонные якоря

Кессонные якоря могут использоваться для крупных глубоководных систем позиционирования могут конструироваться для очень высокого натяжения якорных линий. Как правило, они представляют высокие стальные цилиндрические конструкции с/без внутренних элементов жесткости. Цилиндрический узел открыт в нижней части и закрыт в верхней (см. Рисунок А.30). Кессонный якорь устанавливается сначала путем спуска в грунт на глубину самостоятельного погружения (т.е. проникновение за счет собственного веса погруженной сваи). Оставшаяся часть необходимого внедрения достигается путем откачки захваченной воды из внутренней части кессонного якоря. Перепад давления, таким образом, создает дополнительную движущую силу на верхнюю часть якоря, которая двигает сваю в грунт. По мере увеличения проникновения необходимая движущая сила нормально увеличивается, и требуется постепенно увеличивать перепад давления.



Обозначения

1

проушина

Рисунок 30 — Вакуумная свая

После достижения расчетной глубины проникновения выпускное отверстие для воды закрывается, и позволяет кессонному якорю получить достаточную способность противостоять вертикальным, направленным вниз силам, горизонтальным силам, вертикальным подъемным силам, моменту, и сочетаниям указанных факторов.

Для якорей кессонного типа, внедренных в глину, и с закрытым выпускным отверстием, способность противостоять натяжению якорных линий обусловлена недренированным напряжением сдвига грунта вокруг и ниже якоря. Способность зависит от глубины проникновения, диаметра якоря, напряжения сдвига глины, напряжением сдвига на границе раздела глина/стенка, наклона якорной линии, и местоположения точки соединения. В случаях, когда верхняя часть остается открытой или извлекается, либо применительно к подъемным компонентам длительного действия, выдергивание якоря также может быть возможным механизмом отказа.

Удерживающая способность, обычно, выше, когда удается избежать наклона якоря. Чтобы избежать наклона, точка крепления линии может быть понижена с верхней части якоря до точки на стенке якоря на оптимальной глубине ниже морского дна. Местоположение оптимальной точки крепления линии зависит от профиля напряжения сдвига, напряжения сдвига на границе раздела глины/стенки якоря, наклона линии, веса погруженной части якоря, а также отношения глубины к диаметру якоря. Оптимальное местоположение, как правило, располагается в точке, соответствующей двум третям длины якоря по направлению вниз от верхней

части якоря.

Поскольку кессонные якоря используются на мелководье по сравнению с забивными сваями, то глубокие инженерно-геологические скважины не нужны, однако, на мелководье, по сравнению с глубоководными участками, где забиваются сваи, требуются более подробные данные по грунту. Кессонные якоря, в основном, применяются в связных грунтах глинистого типа. Внедрение путем засасывания через тонкий песок или гранулированные слои вполне осуществимо, при условии, что конструкция кессонного якоря учитывает эти аспекты. Внедрение в невязкие грунты гранулированного типа требует специального анализа, который здесь не рассматривается.

Отношение длины кессонного якоря к диаметру может варьироваться от 2:1 для твердой глины до 7:1 для очень мягких глинистых грунтов. Якоря кессонного типа часто конструируются с большими отношениями глубины к диаметру в мягких глинах, поскольку верхняя часть отложений мягкой глины имеет ограниченную несущую способность и поверхностное трение. Якорь кессонного типа может состоять из двух секций, верхней забивной секции и нижней якорной секции, которые соединяются в ходе монтажа. Как только достигнуто полное проникновение, верхняя секция разъединяется и извлекается, оставляя нижнюю секцию в грунте. Верхняя секция затем используется повторно для забивки других кессонных якорей.

Вакуумный кессон представляет собой кессонный якорь, который достаточно мелководный по высоте и предназначен для сравнительно неглубокого проникновения. Вес погруженной части вакуумного кессона создает большую часть вертикальной удерживающей способности якоря. Многочисленная бетонная конструкция с большой площадью основания и неглубоким проникновением юбки будет представлять собой вакуумный кессон (см. Рисунок А.31). Вертикальная способность формируется, в основном, за счет собственного веса плюс, возможно, некоторое поверхностное трение и внутреннее засасывание. Способность горизонтального нагружения создается за счет проникновения юбки и трения между слоями грунта из-за сдвига.

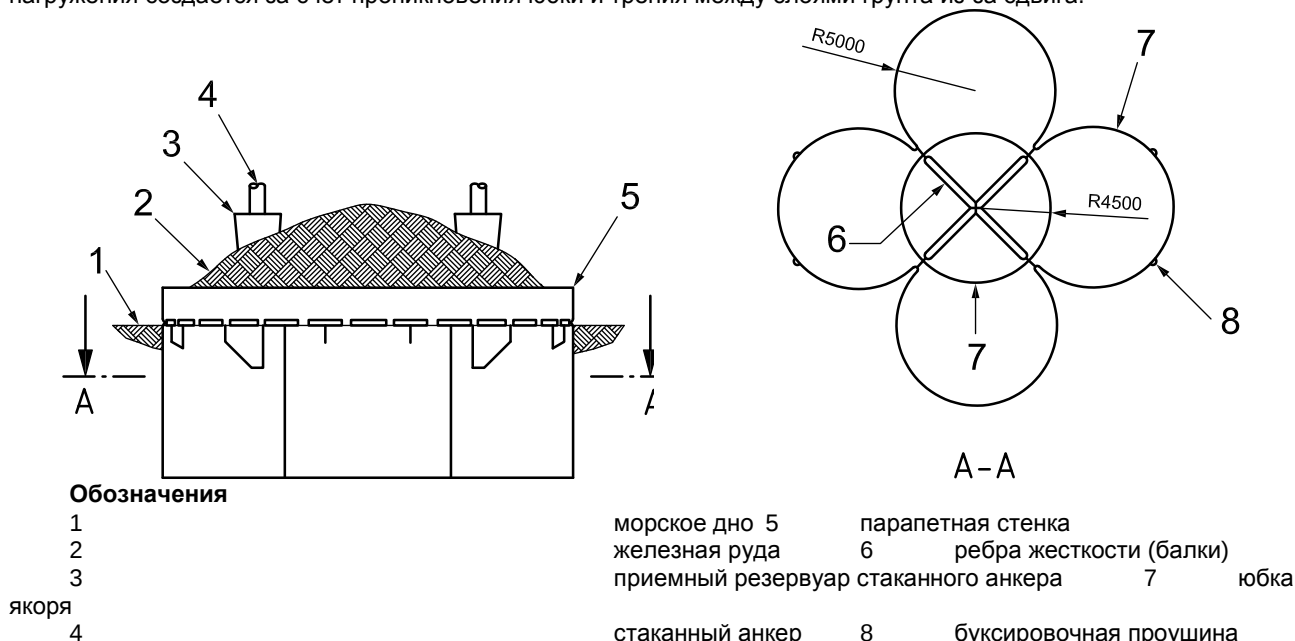


Рисунок 31 — Кессонный (самозасасывающийся) якорь

А.11.1.6.4 Гравитационные якоря

Гравитационные якоря представляют собой якоря, удерживающие за счет собственной массы, которые, обычно, состоят из бетонных или стальных блоков, металлолома или других материалов с высокой плотностью. Проникновение обеспечивается за счет собственного веса, а подъемная способность зависит от веса погруженной части якоря. Горизонтальная способность является функцией трения между якорем и грунтом, а также напряжения сдвига грунта ниже якоря. Гравитационные якоря могут использоваться для небольших систем позиционирования, но, обычно, не используются для больших глубоководных систем позиционирования.

А.11.1.6.5 Якорные плиты

А.11.1.6.5.1 Общие положения

Якорные плиты первоначально использовались ВМФ США для позиционирования швартовых буйев для кораблей флота. Якоря устанавливались с глубоким проникновением в морское дно, где, как правило более высокая прочность грунта позволяет использовать сравнительно небольшие якорные плиты с высокими швартовыми нагрузками. Якорные плиты, обычно, обладают значительной вертикальной удерживающей способностью. Это позволяет использовать сильнонатянутые системы позиционирования, где анкерные линии могут пересекать морское дно под большим уклоном. Якорные плиты можно подразделить на две большие категории: заглубляемые протаскиванием и прямо врезающиеся.

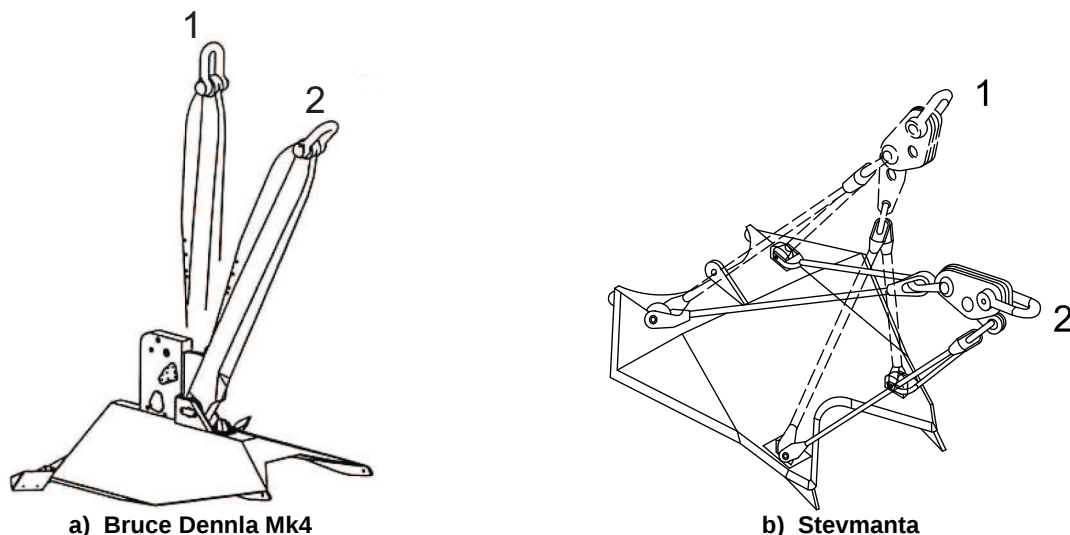
А.11.1.6.5.2 Заглубляемые протаскиванием якорные плиты

Заглубляемые протаскиванием якорные плиты врезаются с глубоким проникновением в манере, похожей на

врезающиеся якоря. В ходе установки, якорь сначала помещается на морское дно, и по мере протаскивания якоря по морскому дну он внедряется в грунт. Сначала якорь погружается более или менее параллельно лапе, все более вращаясь, в результате достигается целевое проникновение. После погружения якорь считается «установленным» или «закрепленным», т.е. лапа якоря ориентирована таким образом, что она становится почти перпендикулярной якорной оттяжке, обеспечивая высокую горизонтальную и/или вертикальную удерживающую способность в зависимости от ориентации линии. Эти якоря, заглубляемые протаскиванием, часто называют вертикально нагруженными якорями (VLA). Два типа якоря VLA, обычно, используются в морских операциях: Stevmanta и Dennla. Якорь Stevmanta использует систему бриделей для преобразования из конфигурации для установки в эксплуатационную ориентацию якорной плиты, поскольку в якорь Dennla используется шарнирное веретено (Рисунок А.32).

А.11.1.6.5.3 Прямо заглубляемые протаскиванием якорные плиты

Прямо заглубляемые протаскиванием якорные плиты могут внедряться за счет засасывания, ударного или вибрационного молота, ВВ, или гидравлического домкрата. Кессонные заглубляемые протаскиванием якорные плиты использовались для основных морских операций позиционирования. В качестве примера, кессонный (засасывающийся) якорная плита (SEPLA) использует так называемый «suction follower» (ведомый элемент при засасывании), который представляет собой многократно используемый якорь кессонного типа, наконечник которого имеет отверстие для вставки якорной плиты. «Suction follower» извлекается за счет реверсирования насоса после того, как якорная плита достигает расчетной глубины, и может быть использован для установки дополнительных якорных плит (Рисунок А.33). В концепции SEPLA лапа якорной плиты погружена в вертикальном положении, и адекватное вращение лапы достигается в ходе процесса закрепления за счет натягивания якорной линии.

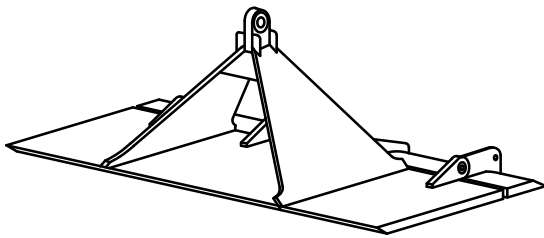
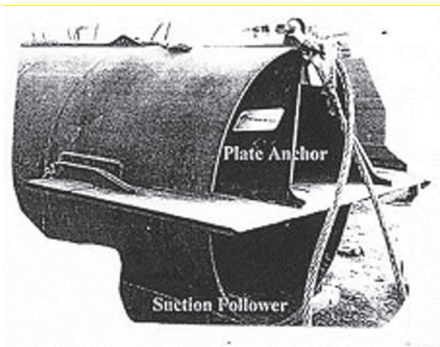


Обозначения

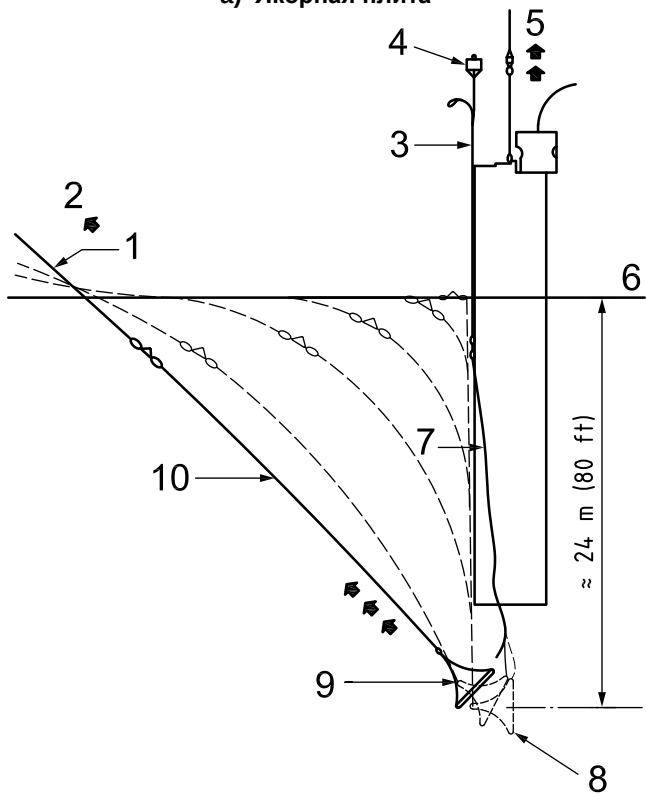
1
2

режим нормального нагружения
режим установки

Рисунок 32 — Заглубляемые протаскиванием якорные плиты (VLA)



а) Якорная плита



б) Монтаж

Обозначения					
1	швартовый трос	6	уровень морского дна		
2	пробная нагрузка, приложенная	MODU, FPS	или	7	
двухкомпонентный стопор SEPLA					
	судном для укладки	8	SEPLA	после	извлечения
засасывающегося толкателя					
3	извлекаемый подвесной трос SEPLA	9	SEPLA	в	
положении перпендикулярном якорной оттяжке					
4	извлекаемый подвесной буй		нагружение	после	
пробной нагрузки					
5	толкатель извлечен	10	анкерный трос		

Рисунок 33 — Засасывающаяся (кессонная) якорная плита (SEPLA)

А.11.2 Лебедки

А.11.2.1 Общие положения

Рекомендуется обратить внимание на критерии, приведенные в ISO 9089 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и ссылке [53].

Тип и конструкция лебедок, которые необходимы в конкретной системе позиционирования зависит от типа якорной линии, с которой будет работать лебедка, а также будет ли производиться предварительное натяжение якорных линий и испытательное нагружение якорей с плавучего сооружения. Буровая установка MODU, обычно, имеет средства регулирования натяжения якорных линий, предварительного натяжения после волочения якоря, а также отсоединения отдельных якорных линий. Если плавучее сооружение применяется и для бурения, и для

добычи, то может потребоваться способность устанавливать плавучее сооружения на места отдельных скважин. Такое позиционирование может быть достигнуто за счет ослабления и выбирания якорных канатов.

A.11.2.2 Брашпиль

Наиболее распространенным методом обращения и натягивания цепи является использование брашпиля. Брашпиль состоит из щелевидного цепного барабана, который приводится в действие источником питания через зубчатый редуктор. По мере вращения зубчатого барабана, звенья цепи зацепляются за него и переносятся вверх через зубчатый барабан, а затем спускаются в цепной ящик. Как только цепь втягивается и натягивается, стопор цепи входит в зацепление и удерживает цепь. Брашпиль доказал свое быстрое действие и надежность для обращения и натяжения цепи.

A.11.2.3 Цепной подъемник

Цепной подъемник представляет собой устройство, которое линейно движется попеременно взад и вперед для втягивания и натяжения цепи. Обычно он приводится в движение одним или несколькими гидравлическими цилиндрами. Цепной подъемник зацепляет цепь, втягивает небольшой кусок цепи, зацепляет стопор, втягивается и повторяет процесс. Хотя цепной подъемник может быть мощным средством натяжения цепи, однако он очень медленный и рекомендуется для использования только там, где не нужно выполнять частые манипуляции с оттяжками.

A.11.2.4 Лебедка барабанного типа

Стандартная лебедка барабанного типа наиболее распространенный метод работы со стальными тросами. Лебедка барабанного типа состоит из большого барабана, на котором намотан стальной трос. Основа барабана часто снабжена специальными канавками под размер используемого стального троса. Канавки контролируют положение нижнего слоя стального троса на барабане. Для последующих слоев троса используется внешний направляющий механизм, такой как укладчик, чтобы контролировать положение стального троса на барабане. Работа лебедки барабанного типа быстрая и плавная.

Лебедка барабанного типа может представлять собой трудоемкий метод обращения со стальными тросами для глубоководных или высокопрочных систем позиционирования, поскольку, при увеличении размеров и длины тросов, лебедка может стать громоздкой и непригодной для использования. Кроме того, когда трос натянут в последнем слое барабана, то может возникнуть деформация (овальность) предыдущих слоев, вызвав повреждение стального троса.

A.11.2.5 Линейная лебедка

Линейная лебедка похожа на цепной подъемник. Два стопора, один стационарный, а другой перемещающийся поступательно, используются для втягивания и натяжения стального троса. Имеются линейные лебедки простого действия, когда стальной трос движется прерывисто по мере того, как стопор выдвигается для начала нового такта, а также в непрерывном, двухтактном варианте, и в этом случае два поступательно перемещающихся стопора используются попеременно для непрерывного плавного движения стального троса. Линейная лебедка наиболее распространенная в стационарных системах, когда нужно сильное натяжение и имеется большой диаметр троса. В этом случае необходим намоточный барабан, чтобы свертывать в бухту трос после прохождения линейной лебедки.

A.11.2.6 Тяговая лебедка

Тяговые лебедки были разработаны для систем позиционирования с сильным натяжением, а также для использования в комбинированных системах позиционирования. Они состоят из мощного барабана, на котором стальной трос делает несколько витков (обычно семь). Натяжение в стальном тросе заставляет трос удерживать барабан. Стальной трос намотан на намоточном барабане, который нужен для поддержания номинального натяжения в стальном тросе (обычно 3 % - 5 % от рабочего натяжения) для обеспечения надлежащего уровня трения между стальным тросом и тяговой лебедкой. Этой системе было отдано предпочтение при использовании в вариантах с сильным натяжением из-за компактных размеров, возможности обеспечивать постоянный крутящий момент, и способности работать с очень длинным тросом без снижения тягового усилия.

A.11.2.7 Направляющий блок и стопор

Швартовая цепь и стальной трос часто останавливают на плавучем сооружении, чтобы снять прямые швартовые усилия с лебедки. Стопоры для цепи и для стального троса, используемые в стационарных системах позиционирования, должны конструироваться, чтобы сохранять концентрацию напряжения и износ в цепи или в стальном тросе на приемлемом уровне.

Направляющие блоки должны обеспечивать достаточное отношение диаметра стального троса к продольному изгибу для минимизации усталостного разрушения в результате изгиба-натяжения. Как правило, для цепей используются цепные барабаны со шкивом с 7 углублениями. Направляющие блоки для стального троса имеют стандартные отношения продольного изгиба к диаметру троса (16 - 25 для подвижных систем позиционирования и 40 - 60 для стационарных систем позиционирования).

Другим устройством является подводный поворотный гибочный башмак, который включает башмак с отношением изгиба к диаметру троса, превышающему 70, а также специальный нейлоновый несущий материал с высокой плотностью, закрепленный на несущей поверхности на башмаке. Замена материала возможна путем ослабления якорной линии и вынимания несущего материала, который прикручен болтами к несущей поверхности секциями.

A.11.3 Оборудование мониторинга

В отношении MODU, см. ссылки **Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден. и Ошибка! Источник ссылки не найден..**

A.12 Технический контроль в процессе эксплуатации, мониторинг и техобслуживание

A.12.1 Общие положения

Указания отсутствуют.

A.12.2 Подвижные системы позиционирования

Технический контроль компонентов якорных линий в процессе эксплуатации в целом обсуждается в ссылках [7], [9], [10], [21], [23], [30], [31], [64] и [65], а конкретное планирование технического контроля обсуждается в ссылке [53].

Процедуры технического контроля и критерии отбраковки для цепей, стальных тросов, а также оборудование для содержания якорей описано в API RP 21 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.12.3 Стационарные системы позиционирования

A.12.3.1 Общие положения

A.12.3.1.1 Введение

Меры, которые следует учитывать при проектировании стационарных систем позиционирования, чтобы минимизировать требования технического контроля, как правило, включают следующее

ппп. Пригодные средства для предотвращения или минимизации коррозии, такие как

ппп.1. Катодная защита основных компонентов (например, цепей, стальных тросов, соединительного оборудования, погружных буев и якорей),

ппп.2. Покрытие оболочкой стальных тросов, обычно, это полиэтилен высокой плотности или полиуретановые оболочки, и

ппп.3. Гальванизация компонентов (а именно стальных тросов), или гибкая водонепроницаемая защита flex-boot и/или герметичные наконечники между концами тросов и замковым оборудованием.

ПРИМЕЧАНИЕ Не обязательно или целесообразно размещать катодную защиту, или оболочки, на конкретных компонентах (например, цепи). Более практичным может стать укрупнение компонентов, чтобы не допустить возможность коррозии и/или перетирания на морском дне. Кроме того, целесообразно и экономично заменять компоненты после указанного периода службы, а некоторые из указанных выше мер можно исключить или смягчить. В этом случае может потребоваться провести детальную экспертизу компонентов на поверхности.

ooo. Пригодные средства для минимизации напряжений при изгибе в якорных оттяжках. Необходимо подобрать соответствующие размеры гибочных башмаков и/или направляющих блоков.

A.12.3.1.2 Надповерхностная якорная оттяжка

Все компоненты системы позиционирования, которые располагаются над водой, где сделана граница раздела с плавучим сооружением, должны контролироваться визуально. Особое внимание должно уделяться участкам стальных тросов и наличию разорванной проволоки или "распушивание" прядей на направляющих блоках лебедок. Для участков с цепями внимание должно уделяться износу звеньев, возможному усталостному растрескиванию вокруг гнезд для звеньев или направляющих блоков, а также ослабленным контрфорсам. Подробные указания по осмотру цепей, стальных тросов и соединительного оборудования можно найти в API RP 21 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** (хотя разработано для систем позиционирования MODU, но некоторые из указаний и критерии отбраковки могут использоваться в отношении надповерхностного инспектирования компонентов систем позиционирования).

Если используются стопоры линейных лебедок, то стальные тросы или пряди на участке стопоров должны быть переставлены в другое место на несколько сантиметров от прежнего места на регулярной основе. Эти меры должны быть учтены в конструкции.

A.12.3.1.3 Подводные направляющие блоки

Когда используются гибочные башмаки большого диаметра, то материал обшивки в башмаке должен обследоваться ежегодно на предмет утраты поверхностного материала и ухудшения свойств, вызванного истиранием. Если чрезмерный износ или истирание налицо, то отдельные участки материала (если так предусмотрено) должны быть удалены и участки контроля по избыточности заменены. Если это невозможно, то может потребоваться заменить всю компоновку гибочного башмака.

В случае большого полуклюза с роульсом, помимо проблем с износом (которая вряд ли возникнет, если только на направляющем блоке нет смятия), основную проблему будет представлять работа центрального подшипника. Он, как правило, смазывается жидким маслом или консистентной смазкой (как это поддерживается с помощью удаленной системы смазки) или он может иметь самосмазывающиеся подшипники (lubrite или аналогичный), или они могут смазываться водой. В зависимости от конкретного варианта, рекомендуется, чтобы якорная оттяжка выбиралась или разматывалась, чтобы можно было определить, что система смазки находится в рабочем состоянии и подшипник исправен. При наличии гибочного башмака или полуклюза с роульсом, которые предназначены для вращения вокруг вертикальной оси, используются те же самые меры.

На буях CALM верхние концы цепей часто удерживаются стопорами. Эти стопоры для цепей должны проверяться на свободное вращение вокруг своих валов. При примерзании, их надо освобождать ото льда. Износ звеньев цепи вблизи стопоров должен измеряться, а показания записываться.

A.12.3.1.4 Погруженный участок якорной линии

Погруженный участок якорной линии, который тянется от плавучего сооружения к соединителю в пределах поверхностных пределов погружения, может осматриваться с привлечением водолазов или с помощью аппаратов ROV с применением подводной видеокамеры. Осмотры должны записываться на носители для анализа в последующем. Как и в случае осмотров участков, находящихся в воде швартовых стальных тросов, наличие перемещения прядей, распушивание или оборванные проволоки имеют первостепенное значение. Там, где эти участки представлены цепью, должны проводиться аналогичные осмотры и звенья цепи должны

исследоваться на предмет износа, коррозии, а также отсутствующих или перемещенных контрфорсов.

Оставшиеся участки якорной линии должны осматриваться с помощью ROV с видеокамерой. Если установлены якорные линии с оболочками, то не представляется возможным определить состояние материала под оболочкой. Цель этого осмотра тогда будет заключаться в верификации целостности оболочки, чтобы убедиться, что отсутствуют трещины, порванные участки или сильное истирание.

Если установлена система позиционирования с цепью, то аналогичный осмотр должен быть проведен на всю длину, где это возможно. Цель – осмотреть звенья цепи на предмет абразивного износа, питтинговой коррозии, или отсутствующих контрфорсов.

Особое значение имеет “погруженный” участок цепи, который близок к тангенциальному с морским дном (зона биений). Этот участок может быть подвержен износу или истиранию из-за контакта с морским дном. Необходимо учитывать такую вероятность и увеличить диаметр этого участка цепи. Необходимо произвести осмотр с помощью аппарата ROV и снять на видеокамеру выглядит ли цепь изношенной, или перемещены ли какие-то контрфорсы, либо может вовсе отсутствовать.

Чтобы позволить “погруженному” участку полностью оторваться от морского дна для проведения инспекции, может понадобиться усилить натяжение якорных линий по сравнению с нормальным натяжением в период эксплуатации. Осмотры должны проводиться в спокойный день с минимальными движениями плавучего сооружения.

A.12.3.1.5 Оконцевание якорных линий и оконечное оборудование

Стальные тросы, как правило, оконцовываются открытыми или закрытыми канатными замками. Особое внимание следует уделить осмотру состояния прядей троса на входе в защелку канатного замка на наличие коррозии и обрывов проволоки. Канатные замки необходимо осматривать на предмет коррозии, деформации, и износа в серье вертлюга, анкерных плитах и фиксаторах. Осмотр можно выполнить с помощью аппарата ROV и подводной видеокамеры.

Осмотр гальванического потенциала должен планироваться на тех замках, которые подходят для анодов. Осмотры могут проводиться аппаратом ROV с помощью портативных эталонных электродов.

Соединительное оборудование в целом состоит из изготовленных шпонок, триметаллических пластин или соединительных звеньев. Эти соединители можно визуально осмотреть с помощью аппарата ROV на наличие признаков коррозии, износа или деформации шпонок, звеньев или фиксаторов. Необходимо также учитывать дополнительные инспекции с использованием оборудования магнитно-порошкового контроля (MPI) или ультразвукового контроля (UT). Оба вида оборудования можно упаковать таким образом, что ими можно управлять с помощью ROV, который имеет манипулятор для удерживания зонда. Чтобы проводить подобные осмотры аппарат ROV должен очищать участки соответствующих компонентов, которые будут осматриваться.

A.12.3.1.6 Пружинные буи

Когда устанавливаются пружинные буи в системе позиционирования FPS, то каждый буй должен осматриваться визуально с помощью видеокамеры ROV. Желательно проводить осмотр каждый год. Особое внимание следует уделять сварным швам, сегментам буя и соединениям с проушинами, а также состоянию анодов, где они устанавливаются. Кроме того, осмотр гальванических потенциалов может быть выполнен аппаратом ROV с помощью портативных эталонных электродов для замера системы катодной защиты.

A.12.3.2 Философия системы управления структурной целостностью

Указания отсутствуют.

A.13 Система динамического позиционирования (ДП)

A.13.1 Основные факторы

A.13.1.1 Общие положения

Динамическое позиционирование имеет много сфер применения с момента разработки технологии в начале 1960х. Самыми первыми сооружениями, которые оснащались системами динамического позиционирования, как средством удержания, были буровые суда, однако сейчас много сфер применения, начиная от бурения и ремонтных работ в скважинах с помощью MODU, до плавучих гостиных, водолазных судов, судов-трубоукладчиков, большегрузных барж и, заканчивая добычными сооружениями.

A.13.1.2 Оборудование ДП

При определении надежности системы необходимо учитывать три подсистемы по отдельности и вместе. Наиболее распространенным методом является FMEA, как описано в п. 14.2.1. Указания по проектированию и эксплуатации судов с системой ДП даны в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.13.2 Проектирование и анализ

A.13.2.1 Анализ режимов отказа и эффектов

Указания отсутствуют.

A.13.2.2 Классы оборудования ДП

Руководство по оборудованию класса ДП было составлено IMO, чтобы облегчить интерпретацию и добавить результаты FMEA. Несколько признанных классификационных обществ дают условные обозначения по классам ДП очень сходные с классами оборудования IMO. IMO разработало циркуляр Комитета по безопасности на море, IMO MSC 645 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, с целью представления концепции выбора системы ДП (с ее отдельным резервированием) для плавучего сооружения с сопоставимыми рисками для конкретной операции ДП. Эти указания включены по ссылке в Кодекс 1989 IMO MODU, но они в равной степени применимы к FMEA операций ДП для других типов плавучих сооружений.

В частности, в циркуляре заявлено, что “класс оборудования судна, который необходим для конкретной операции должен быть согласован между собственником судна и заказчиком на основе анализа рисков

последствий утраты положения.”

Анализ рисков, который требуется в соответствии с IMO MSC 645, из которого анализ FMEA, описанный в 14.2.1, заимствует часть, учитывает риски по специальным операциям, таким как бурение и внутрискважинные работы, водолазные работы, услуги плавучих гостиниц, подъем крупных грузов, укладка труб, добыча плавучими средствами, загрузка челночных танкеров, и т.п.

Анализ рисков может носить общий характер и охватывать различные рабочие ситуации и типы работ. Тем не менее, обобщенные допущения и принципы должны учитываться для каждого проекта, местоположения, и процедур, чтобы обеспечить достоверность анализа и/или внесенных изменений для валидации и применимости.

В конкретном анализе рисков скорее всего будут учтены некоторые аспекты, приведенные ниже.

rrr. Время для достижения безопасной ситуации (или избавиться от грозящей опасности)

Для водолазных работ это может касаться времени, необходимого для обеспечения относительной безопасности водолазов с помощью спасательного колокола; для большегрузных судовых кранов (HLCV) это может быть отрезком времени, для спуска тяжелого груза, а для буровой установки – временем, необходимым для отсоединения от компоновки морского райзера.

qqq. Скорость потери положения (снос, увод или большое отклонение)

Потенциальная скорость, с какой положение утрачивается, зависит от режима отказа, которым может быть снос, если прекращена подача питания на подруливающие устройства сооружения, положение увода, если подруливающее устройство не следует за опорным сигналом, или просто отклонение большого плавучего сооружения от нужного положения, которое создаст опасность для конкретной операции.

rrr. Ограничение по условиям окружающей среды

Природное воздействие и его направления непосредственно перед отказом системы влияют на скорость, с которой потеряно положение. Плавучее сооружение, использующее оборудование класса 2 или 3, должно работать только до его максимальной способности удержания после одиночного отказа по наихудшему сценарию. В этом случае, даже после возникновения ситуации по наихудшему сценарию, как правило, при утрате одного машинного отсека или распределительного щита, плавучее сооружение может удерживать положение с помощью оставшихся машинных отсеков, работающих на полную мощность.

sss. Операционные процедуры

Операционные процедуры и готовность операторов плавучего сооружения предпринять корректирующие действия также влияют на анализ рисков.

ttt. Человеческие факторы

База данных по нештатным ситуациям с ДП показывает, что человеческая ошибка является основной причиной потери положения плавучим сооружением, а невыполнение корректирующих действий может привести к усилению сравнительно незначительной нештатной ситуации.

A.13.3 Проектирование, испытания и техобслуживание

Рекомендуется выполнять ежегодно исследование с целью подтверждения, что система ДП поддерживается в исправном рабочем состоянии в соответствии с требованиями IMO MSC 645 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.13.4 Эксплуатационный персонал

В курсе обучения должны быть учтены указания из IMO MSC 738 **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и из IMO A.891 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

A.13.5 Определение способности удержания

A.13.5.1 Общие положения

Анализ удерживающей способности должен выполняться с целью определения окружающей среды, в которой система ДП может поддерживать положение плавучего сооружения. Этот анализ должен выполняться, как часть проектирования новых конструкций, а также для отдельных операций. Два метода могут использоваться для анализа удерживающей способности системы ДП. Динамический анализ системы во временной области, как правило, выполняется для новых конструкций системы критических операций, особенно на мелководье. Для стандартных операций на глубоководных участках, может использоваться упрощенный метод, рассматривающий только средние природные воздействия с допуском на отклонения от положения.

A.13.5.2 Природное воздействие и движения сооружения

На плавучее сооружение действуют следующие силы и движения:

- Установившиеся воздействия ветра, волн и течения;
- Воздействия на частоте волн;
- Низкочастотные воздействия.

Система ДП учитывает установившиеся воздействия и гасит низкочастотные воздействия. Движения на частоте волн не влияют на систему ДП, и поэтому их можно исключить из анализа удерживающей способности. Тем не менее, они должны быть включены в определение экстремальных значений смещения.

A.13.5.3 Упрощенный метод

В этом подходе удерживающая способность ДП считается удовлетворительной, если способность ДП выше среднего природного воздействия для рассматриваемой расчетной ситуации. Процедура представляет собой следующие действия:

- Определить рабочие условия и курс сооружения относительно рабочих условий;

- Вычислить среднее продольное и поперечное воздействие, а также момент рысканья из-за ветра, волн и течения;
- Определить необходимые выходные параметры каждого отдельного подруливающего устройства на основе алгоритма системы ДП для размещения подруливающих устройств;
- Определить имеющуюся тягу для каждого подруливающего устройства, см. А.8.9.3;
- Вычислить способность ДП в соответствии с IMCA M 140 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**;
- Повторить предыдущие шаги для различных курсов, рабочих условий и вариантов отказа подруливающих устройств.

А.14 Швартовка с помощью канатов из синтетических волокон

А.14.1 Основные аспекты

Основные требования к проектированию для канатов из синтетических волокон указаны в Статье 15. Подробная информация по проектированию систем позиционирования на основе канатов из синтетических волокон, испытания/изготовление и сертификация канатов приведена в ISO 18692 [2], и ссылках **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, **Ошибка! Источник ссылки не найден.** и **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

В настоящее время используются волокна (или оцениваются для возможного использования) в стационарных или временных глубоководных системах позиционирования из полиэстера, сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), арамида, нейлона и жидкокристаллического полимера (ЖКП).

Эта статья сначала была разработана на основе испытательных данных и имеющихся знаний по канатам из полиэстера (в первую очередь), а также канатов из СВМПЭ. Когда рассматривается использование других материалов для изготовления канатов, то необходимо проконсультироваться с изготовителями канатов, а рекомендации, изложенные здесь, должны быть оценены повторно с учетом свойств и характеристик рассматриваемых продуктов.

Аспекты проектирования, которые присущи только системам позиционирования из синтетических канатов представлены в п. 15.2 - **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Эти аспекты включают в себя:

- Свойства натяжения-вытягивания,
- Аспекты зазора от направляющего блока/морской поверхности,
- Аспекты минимального натяжения и зазора по отношению к морскому дну, в подветренных оттяжках,
- Усталость — усталостные расчетные кривые Т-Т отличаются от кривых для стальных компонентов системы позиционирования,
- Разрушение при осевом сжатии (для некоторых канатов), и
- Разрушение при ползучести (для некоторых канатов из волокон).

Указания по осторожному обращению с канатами, оценке состояния и ремонту канатов см. в Приложении D ISO 18692 [2].

Установка защиты от проникновения частиц в канаты из волокон позволяет не допустить, или ограничить проникновение пыли или частиц грунта или других частиц в сердечник каната. Это потенциально может влиять на требования, относящиеся к контакту с морским дном (см. А.14.2.2).

Когда волоконные канаты используются последовательно со сбалансированными стальными тросами без момента (например, стальные тросы с шестью прядями), то стальной трос может повредиться за счет циклического скручивания, от крутящего момента, вызванного циклическими изменениями натяжения и вертлюжного эффекта характерных канатов из волокон нейтральных к кручению (и податливых кручению). Согласованные по моменту канаты из волокон, т.е. канаты, совместимые с указанным моментом, предназначены для использования последовательно со стальными тросами.

А.14.2 Анализ позиционирования с помощью канатов из синтетических волокон

А.14.2.1 Свойства натяжения-растягивания канатов из синтетических волокон

Свойства растяжения-вытягивания канатов из волокон различные и более сложные, чем те, которые состоят из эквивалентных стальных компонентов. В настоящее время не существует модели, которая может предоставить достоверный временной график характеристик растяжения-вытягивания канатов из волокон. Тем не менее, некоторые практические аппроксимации могут быть сделаны в контексте анализа позиционирования.

Моделирование с использованием верхней границы и нижней границы линейной жесткости было предложено в ссылке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, как простая аппроксимация. Жесткость в штормовых условиях является репрезентативной в отношении верхней границы жесткости при проведении цикла от прогнозируемого среднего натяжения в ходе расчетной ситуации до максимального натяжения, спрогнозированного в расчетной ситуации. Жесткость после установки является репрезентативной в интересующем диапазоне натяжения или напряжения для квазистатического воздействия сразу после установки. Жесткость увеличивается, если применяется более строгий режим натяжения после минимального натяжения при установке или после периодов циклического воздействия.

Имеются другие аппроксимирующие модели, которые учитывают вариации динамической жесткости со средним натяжением, см. например, ссылку [37].

А.14.2.2 Длина канатов и среднее удлинение

А.14.2.2.1 Общие положения

На раннем этапе эксплуатации новый волоконный канат, как правило, подвержен воздействию процесса, называемого "приработка", который приводит к накоплению постоянного (не восстанавливающегося) удлинения.

Большая часть приработки и результирующее удлинение происходит в ходе начального развертывания и

натяжения линии, и сразу после этого. Оценка длины каната «как он установлен» (в отличие от длины после изготовления) может быть получена, например, за счет испытаний «линейной плотности» [2]. Отсроченная далее приработка (постоянное удлинение) и вязкоупругое (восстанавливаемое) удлинение возникает, если канат находится в постоянно натянутом состоянии или когда натяжение в канате превышает максимальное натяжение, которое было достигнуто до этого. Для канатов из СВМПЭ, ползучесть приводит к дальнейшему увеличению длины каната со временем. Таким образом, повторное натяжение за счет регулирования длины линии, обычно, требует затрат некоторого времени после начальной установки или (по мере необходимости), например, после сильного шторма.

Длина линий, используемая в анализе позиционирования, должна согласовываться с предлагаемыми процедурами управления длиной. Может потребоваться учесть более одного набора длин линий для указанных условий окружающей среды.

A.14.2.2.2 Медленные изменения среднего натяжения

При медленных изменениях среднего натяжения, возникающего при изменении погоды в течение нескольких часов или дней, канат испытывает вязкоупругий отклик, который вызывает большее смещение плавучего сооружения, чем «динамическая жесткость», которая обсуждается ниже.

Была разработана процедура вычисления значений «квазистатической жесткости» на основе соответствующей последовательности испытаний, при этом также учитывая зависимости отклика от силы и времени (см. ссылки [2] и [20]).

A.14.2.2.3 Динамическая жесткость

Динамическая жесткость характеризует отклик на циклическое нагружение/перемещения во временные отрезки в масштабе от секунд (например, движения, вызываемые волнами) до десятков минут (например, медленный дрейф или VIM на частоте собственных колебаний системы).

Дополнительную информацию по натяжению-удлинению канатов из волокна и значений по квазистатической и динамической жесткости см. в ссылках [2], [15] и [20].

A.14.2.2.4 Длина каната из синтетических волокон

Дальнейшие указания отсутствуют.

A.14.3 Усталостный анализ

A.14.3.1 Усталостная прочность режима «натяжение-натяжение»

Большинство имеющихся данных усталостных испытаний относятся к канатам из полиэстера. Сравнение данных испытаний канатов из полиэстера/СВМПЭ и стальных тросов показывает, что канаты из полиэстера/СВМПЭ имеют значительно более высокую усталостную прочность, чем стальные тросы. Однако, нейлоновые канаты имеют усталостную прочность ниже, чем стальные тросы, особенно в сырых условиях.

Для полиэстера и СВМПЭ, кривая T-N в п. 14.3, полученная на основе результатов совместного исследовательского проекта «Срок службы канатов из полиэстера» **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, [174] дает консервативную оценку износостойкости каната.

Для канатов, изготовленных из других волокон в открытом доступе не имеется достаточно данных усталостных испытаний, чтобы построить усталостные расчетные кривые. При отсутствии более качественных данных может использоваться кривая спиральных прядей (см. Таблицу 3). Свойство каната подлежит верификации.

Усталостные кривые, использованные для проектирования должны быть валидированы на основе данных испытаний.

A.14.3.2 Усталость осевого сжатия

См. A.14.5.2.

A.14.4 Анализ ползучести

Анализ ползучести можно применить в отношении канатов, изготовленных из СВМПЭ, и похожих материалов. Эти канаты подвержены ползучести, вызывающей удлинение, которое увеличивается линейно со временем в условиях приложенного натяжения, и приводит к уменьшению прочности каната, по истечении некоторого времени, и в конечном итоге к разрушению.

Для канатов из полиэстера и арамида разрушение при ползучести не прогнозируется, если только канаты не подвержены необычному воздействию.

В отличие от усталостного разрушения, которое, в основном, вызывается циклическим воздействием волн, на ползучесть могут существенно влиять все параметры природного характера, включая ветер, волны и течение. Особое внимание нужно обратить на события, связанные с сильным течением, такими как кольцевое течение в Мексиканском заливе, которые могут задавать установившиеся воздействия большой продолжительности на плавучие сооружения. Этот тип событий должен включаться в расчетные ситуации для анализа ползучести.

Поскольку температура сильно влияет на скорость ползучести, то площадь каната, которая испытывает воздействие наивысшей окружающей температуры, в целом, демонстрирует более высокую ползучесть, и допустимая оценка растяжения при ползучести должна выполняться для этого участка.

Аналогичный анализ может быть выполнен для всей линии, чтобы получить оценку полного удлинения при ползучести линии, если нужно.

Годовое совокупное растяжение при ползучести ε_1 , можно вычислить по следующей формуле:

$$\varepsilon_1 = \sum_i C(F_i, \theta) t_i \quad (\text{A.29})$$

Где:

ε_1 - годовое совокупное растяжение при ползучести, %/в год;

t_i - продолжительность в течение года натяжения F_i в интервале i , дней/в год;

$C(F_i, \square)$ - скорость ползучести, в процентах в сутки, где F_i является натяжением при температуре окружающей среды $\square$, как определено испытаниями ползучести.

Скорость ползучести для каната, как функция натяжения и температуры, может быть получена на основе данных по волокну, после калибровки с данными на основе испытаний канатов.

Процедура анализа разрушения при ползучести описана ниже.

иии. Длительные окружающие условия представлены рядом дискретных расчетных состояний позиционирования (MDS). Каждое состояние MDS характеризуется значительной высотой волны, пикового спектрального периода (или эквивалентом), формой спектра, профилем скорости течения, скоростью ветра (с соответствующими направлениями), а также вероятностью возникновения.

vvv. Для каждого MDS определить натяжение всех якорных линий.

www. Вычислить годовое удлинение при ползучести по каждой оттяжке для одного состояния MDS на основе Уравнения (A.29), учитывая температуру и натяжение линии. Для этого необходимо определить различные интервалы натяжения для MDS, определить сопутствующую продолжительность для каждого интервала, и получить удлинение при ползучести путем суммирования всех удлинений по каждому интервалу натяжения. Альтернативным образом, может использоваться эквивалентное среднее натяжение линий, вычисленное на основе произвольного протекания процесса натяжения.

xxx. Повторить шаги иии до шага www для всех MDS и вычислить совокупное годовое удлинение при ползучести ε_1 в качестве суммирования удлинения при ползучести на основе всех MDS.

ууу. Прогнозируемое удлинение при ползучести для площади каната, на протяжении расчетного срока службы L (в годах), будет равно:

$$\varepsilon_L = \varepsilon_1 \times L \quad (\text{A.30})$$

Прогнозируемый жизненный цикл t_c (в годах) для достижения допустимого удлинения при ползучести ε_A (в процентах) будет равен:

$$t_c = \varepsilon_A / \varepsilon_1 \quad (\text{A.31})$$

A.14.5 Расчетные критерии

A.14.5.1 Максимальное натяжение якорной линии

Расчетные коэффициенты запаса прочности, указанные в Таблице 5, являются минимально допустимыми значениями. Немного более высокие расчетные коэффициенты запаса прочности были использованы в ряде случаев применения швартовых устройств из полиэстера.

A.14.5.2 Минимальное натяжение якорной линии

Указания отсутствуют.

A.14.5.3 Усталость

Указания отсутствуют.

A.14.5.4 Удлинение при ползучести

Достижение удлинения при ползучести, равного допустимому удлинению при ползучести, является одним из замещающих критериев для каната. Изменение длины каната (удлинение при ползучести) необходимо отслеживать в полевых условиях на регулярной основе. Это можно выполнить с помощью маркеров на оболочке каната, при условии, что она надлежащим образом закреплена. Для стационарных систем позиционирования процедуры должны быть включены в руководство по эксплуатации плавучего сооружения, а также в систему управления структурной целостностью в соответствии со Статьей 12.

Допустимое удлинение при ползучести представляет собой удлинение, при котором рабочие характеристики каната существенно не ухудшаются. Используется критерий, что возможность разрушения при ползучести является малым, поэтому расчетный коэффициент запаса прочности по разрушению при ползучести не нужен.

A.14.6 Модельные испытания

Указания отсутствуют.

Библиография

- [1] Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов. РМРС - СПб, 2011, НД 2-020201-011

УДК 622.242.4:006.354

ОКС 75.180.10

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, сооружения нефтегазопромысловые морские, системы позиционирования

Заместитель генерального директора – директор филиала
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть»
в г. Волгограде

И.Б. Федотов

Руководитель разработки, начальник
отдела перспективных морских проектов
и управления базами данных

В.С. Мажитов

Исполнитель, главный специалист
отдела перспективных морских проектов
и управления базами данных

Р.А. Гурман