ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57123— 2016 (ИСО 19901-2:2004)

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Проектирование с учетом сейсмических условий

(ISO 19901-2:2004,
Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 2: Seismic design procedures and criteria, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Филиалом ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть» в городе Волгограде на основе собственного 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 7 октября 2016 г. № 1328-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-2:2004 «Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 2. Методы и критерии проектирования с учетом сейсмических условий» (ISO 19901-2:2004 «Petroleum and natural gas industries — Specific requirements for offshore structures — Part 2: Seismic design procedures and criteria», MOD) 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—2012 (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

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Ноябрь 2019 г.

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

© ISO, 2004 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения 4
5 Сокращения 5
6 Сейсмические опасности 5
7 Принципы и методы проектирования с учетом сейсмических условий 6
7.1 Принципы проектирования 6
7.2 Проектирование с учетом сейсмических условий 6
7.3 Данные спектрального ускорения 9
7.4 Категория сейсмического риска 9
7.5 Требования к проектированию с учетом сейсмических условий 10
8 Упрощенный метод проектирования с учетом сейсмических условий 11
8.1 Классификация грунтов и форма спектра 11
8.2 Метод проектирования 14
9 Детальный метод проектирования с учетом сейсмических условий 15
9.1 Оценка сейсмической опасности площадки 15
9.2 Вероятностный анализ сейсмической опасности 15
9.3 Детерминистский анализ сейсмической опасности 17
9.4 Метод проектирования 17
9.5 Анализ отклика площадки 20
10 Конструктивные решения 20
10.1 Требования к конструктивным решениям с учетом воздействий проектного землетрясения . . 20
10.2 Требования к конструктивным решениям с учетом воздействий максимального расчетного землетрясения 21
10.3 Требования к мониторингу сооружений 21
Приложение А (справочное) Дополнительная информация и рекомендации 23
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 28
Библиография 28

Введение

Темпы освоения углеводородных ресурсов шельфа Российской Федерации предопределили необходимость создания серии нормативных документов, в полной мере обеспечивающих процесс проектирования объектов обустройства морских месторождений нефти и газа.

В Российской Федерации начата активная разработка национальных стандартов в области морской нефтегазодобычи, которая в соответствии с принципами национальной стандартизации основывается на применении международных стандартов, а также учитывает многолетний накопленный отечественный опыт проектирования, строительства и эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений.

Цель разработки настоящего стандарта — обеспечение безопасности при осуществлении работ по освоению морских месторождений, расположенных на шельфе морей (в том числе замерзающих) Российской Федерации, путем повышения надежности эксплуатации морских нефтегазопромысловых сооружений, а также повышения качества их проектирования за счет учета сейсмических условий района эксплуатации.

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 19901-2:2004 «Нефтяная и газовая промышленность. Специальные требования к морским сооружениям. Часть 2. Методы и критерии проектирования с учетом сейсмических условий» (ISO 19901-2:2004 «Petroleum and natural gas industries. Specific requirements for offshore structures. Part 2: Seismic design procedures and criteria») 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 проектирования морских нефтегазопромысловых сооружений, приведены в дополнительных структурных элементах 7.2.4, 10.3, 10.3.1, 10.3.2 и терминологических статьях 3.13, 3.20, 3.28. Эти дополнительные положения и терминологические статьи заключены в рамки из тонких линий. Пункт 7.2.4 включен в соответствии с требованиями подраздела 6.8 СП 11-114—2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений» в части необходимости выполнения комплексных работ по оценке сейсмической опасности (сейсмическому микрорайонированию) площадки установки сооружения. Подраздел 10.3, включая пункты 10.3.1 и 10.3.2, добавлен в соответствии с требованиями подраздела 4.12 СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01—2003» в части применения автоматизированной системы мониторинга технического состояния сооружений, в том числе для решения задач предупреждения и уменьшения опасности аварий для жизни людей и их здоровья, ущерба имуществу и окружающей среде. Терминологические статьи 3.13, 3.20, 3.28 добавлены, поскольку определяемые термины находят применение в настоящем стандарте.

В целях улучшения понимания пользователями некоторых положений и терминологических статей настоящего стандарта, а также для учета требований российских нормативных документов и отечественной специфики проектирования морских нефтегазопромысловых сооружений в текст внесены изменения и дополнения, выделенные полужирным курсивом.

В настоящий стандарт не включено большинство нормативных ссылок ввиду отсутствия принятых гармонизированных национальных стандартов, а также географических и природно-климатических особенностей расположения континентального шельфа Российской Федерации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная и газовая промышленность

СООРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫЕ МОРСКИЕ

Проектирование с учетом сейсмических условий

Petroleum and natural gas industry. Offshore oil and gas field structures. Design under seismic conditions

Дата введения — 2017—06—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования для определения методик и критериев проектирования с учетом сейсмических условий конструкций морских нефтегазопромысловых сооружений, устанавливаемых на континентальном шельфе морей (в том числе замерзающих) Российской Федерации и предназначенных для бурения скважин, добычи, переработки, хранения и отгрузки продукции скважин, проживания персонала.

Устанавливаемые настоящим стандартом требования предназначены для максимально возможного снижения риска для людей, окружающей среды и имущества. Это достигается путем использования:

а) методик проектирования сейсмостойких конструкций, которые зависят от уровня воздействия на морские нефтегазопромысловые сооружения (МНГС) и ожидаемого уровня сейсмической активности;

б) двухуровневой проверки проектирования сейсмостойких конструкций, при которой конструкции проектируются по двум предельным состояниям: основному и особому (чрезвычайному) предельным состояниям ***в соответствии с ГОСТ 54483.***

Для регионов с высоким уровнем сейсмической активности требуется оценка сейсмической опасности с учетом конкретных условий площадки строительства. Для таких случаев применяются процедуры и требования вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО).

Для регионов, для которых приемлемы упрощенные методы проектирования, допускается определять сейсмичность района по существующим картам сейсмического районирования, в том числе представленным в СП 14.13330.

При постройке МНГС под техническим наблюдением Российского морского регистра судоходства (РМРС) должны выполняться требования Правил РМРС [1], [2], [3] в части общих принципов проектирования конструкций с учетом внешних условий района эксплуатации, включая сейсмическую обстановку.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и документы:

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

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

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

СП 58.13330 Актуализированная редакция СНиП 33-01—2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения

СП 14.13330 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7—81

Издание официальное

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

3 Термины и определения

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

3.1 **анализ отклика площадки установки** (site response analysis): Анализ распространения сейсмических волн, позволяющий оценить влияние местных геологических и грунтовых условий морского дна на площадке установки.

Примечание — Результаты анализа отклика площадки установки могут включать в себя амплитуду колебаний, частотный спектр и длительность.

3.2 **вероятность превышения** (probability of exceedance): Вероятность того, что переменная (или событие) превысит определенный базовый уровень за рассматриваемый период времени.

3.3 **вероятностный анализ сейсмической опасности** (probabilistic seismic hazard analysis); ВАСО: Метод, базирующийся на оценке вероятности превышения заданного уровня движения грунта при землетрясениях в заданном пункте в заданный период времени, позволяющий выделить, оценить и рационально объединить неопределенности в интенсивности, месте расположения, периодичности землетрясений и разновидностях характеристик движений грунта.

3.4 **грязевой вулкан** (mud volcano): Геологическое образование, постоянно или периодически извергающее грязевые массы и газы.

3.5 **движения грунта** (ground motions): Ускорения, скорости или смещения грунта в результате сейсмических волн, расходящихся от очага землетрясения.

3.6 **затухание** (attenuation): Снижение интенсивности сейсмических волн по мере их распространения от очага до площадки установки сооружения.

3.7 **категория сейсмического риска** (seismic risk category); КСР: Категория риска, определяемая по уровню воздействия и ожидаемого уровня сейсмических движений.

3.8 **комбинация по направлениям** (directional combination): Комбинация значений отклика по каждому из трех ортогональных компонентов движения землетрясения.

3.9 **кривая сейсмической опасности** (seismic hazard curve): Кривая, показывающая вероятность превышения в зависимости от уровня сейсмической активности.

3.10 **максимальное расчетное землетрясение** (abnormal level earthquake); МРЗ: Землетрясение максимальной интенсивности, при воздействии которого сооружение не должно полностью утратить конструктивную целостность.

Примечание — Землетрясение уровня МРЗ сравнимо с воздействиями, вызванными аномальными и аварийными ситуациями, учитываемыми при проектировании с учетом особого (чрезвычайного) предельного состояния в соответствии с ГОСТ Р 54483.

3.11 **метод предельной статической прочности** (static pushover method): Анализ прочности сооружения, основанный на применении поступательно увеличивающейся комбинации глобальных статических нагрузок, включая эквивалентные динамические инерционные воздействия до наступления общего разрушения конструкции.

3.12 **морское дно** (seabed): Морские грунты, которые являются опорой для сооружений.

Примечание — Морское дно можно представить как пространство ниже поверхности дна моря.

3.13

осциллятор (oscillator): Одномассовая линейно-упругая динамическая система, состоящая из массы, пружины и демпфера.

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

3.15 **проектное землетрясение** (extreme level earthquake); ПЗ: Землетрясение такой интенсивности, при воздействии которого исключаются повреждения сооружения.

Примечание — Землетрясение уровня ПЗ сравнимо с воздействиями, учитываемыми при проектировании по основному предельному состоянию в соответствии с ГОСТ Р 54483.

3.16 **разжижение** (liquefaction): Текучесть водонасыщенного дисперсного грунта, вызванная разрушением его структуры и сопровождаемая увеличением парового давления при землетрясении.

3.17 **режимная комбинация** (modal combination): Комбинация значений отклика, связанных с каждым динамическим режимом сооружения.

3.18 **сдвиг горных пород** (fault movement): Трещина или разлом в земной коре, вдоль которой проходит смещение массива пород.

3.19 **сейсмический коэффициент запаса** (seismic reserve capacity factor): Отношение спектрального ускорения, приводящего к разрушению конструкций или катастрофическому нарушению работы систем, к спектральному ускорению уровня проектного землетрясения.

3.20

сейсмическое микрорайонирование (site-specific seismic hazard assessment): Комплекс работ по оценке сейсмической опасности, выполняемых с целью получения данных, необходимых и достаточных для оценки инженерно-сейсмологических условий исследуемой площадки и расчета параметров ожидаемых сейсмических воздействий с учетом местных особенностей.

3.21 **системы аварийного покидания и эвакуации** (escape and evacuation systems): Спасательные и эвакуационные системы, включая коридоры, трапы, спасательные плоты и вертолетные площадки.

3.22 **системы безопасности** (safety systems): Системы, предусмотренные на сооружении для обнаружения, контроля и снижения риска опасных ситуаций.

Примечание — Системы безопасности включают системы обнаружения утечки газа, аварийного отключения, пожарной безопасности и системы управления ими.

3.23 **спектр отклика** (response spectrum): График абсолютного ускорения, псевдоскорости, относительных перемещений в зависимости от периода или частоты собственных колебаний.

3.24 **спектральная скорость** (spectral velocity): Отклик максимальной псевдоскорости осциллятора единственной степени свободы вследствие движения грунта, вызванного землетрясением.

3.25 **спектральное перемещение** (spectral displacement): Отклик максимального относительного перемещения осциллятора единственной степени свободы вследствие движения грунта, вызванного землетрясением.

3.26 **спектральное ускорение** (spectral acceleration): Отклик максимального абсолютного ускорения осциллятора единственной степени свободы вследствие движения грунта, вызванного землетрясением.

3.27 **сползание морского дна** (sea floor slide): Смещение склонов морского дна.

3.28

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

3.29 **цунами** (tsunami): Длиннопериодные волны, вызванные быстрым вертикальным движением морского дна.

Примечание — Вертикальное движение морского дна часто связано со сбросовым разрывом во время землетрясений или с грязевыми оползнями морского дна.

4 Обозначения

В настоящем стандарте использованы следующие обозначения:

a_R — наклон кривой сейсмической опасности;

C_a — коэффициент площадки, установки сооружения (поправочный коэффициент), применимый к ускорению в спектре отклика;

C_c — поправочный коэффициент, применимый к спектральному ускорению с целью учета неопределенности, не отраженной на кривой сейсмической опасности;

C_r — сейсмический коэффициент запаса;

C_v — коэффициент площадки установки сооружения (поправочный коэффициент), применимый к скорости в спектре отклика;

c_u — сопротивление недренированного сдвига грунта;

$\overline{c}_u$ — среднее сопротивление недренированного сдвига верхнего 30-метрового слоя грунта морского дна;

D — коэффициент затухания;

G_{max} — малоамплитудный модуль сдвига грунта;

g — ускорение свободного падения;

M — магнитуда определенного сейсмического очага;

N_{ALE} — масштабный коэффициент для перевода спектра ускорения один раз в 1000 лет в спектр ускорения МРЗ на площадке установки сооружения;

p_a — атмосферное давление;

P_{ALE} — годовая вероятность превышения МРЗ;

P_e — вероятность превышения;

P_{ELE} — годовая вероятность превышения ПЗ;

P_f — целевая годовая вероятность разрушения;

q_c — сопротивление вдавливанию конуса зонда для песка;

q_{cl} — нормализированное сопротивление вдавливанию конуса зонда для песка;

$\overline{q}_{cl}$ — среднее нормализированное сопротивление вдавливанию конуса зонда для песка верхнего 30-метрового слоя грунта морского дна;

$S_a(T)$ — спектральное ускорение, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T;

$\overline{S}_a(T)$ — среднее спектральное ускорение, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T, полученное при выполнении ВАСО;

$S_{a,\,ALE}(T)$ — спектральное ускорение МРЗ, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T;

$\overline{S}_{a,\,ALE}(T)$ — среднее спектральное ускорение МРЗ, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T, полученное при выполнении ВАСО;

$S_{a,ELE}(T)$ — спектральное ускорение ПЗ, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T;

$\overline{S}_{a,ELE}(T)$ — среднее спектральное ускорение ПЗ, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T, полученное при выполнении ВАСО;

$S_{a,map}(T)$ — спектральное ускорение на поверхности скальных пород с повторяемостью один раз в 1000 лет, связанное с периодом колебаний осциллятора T с одной степенью свободы;

$\overline{S}_{a,P_e}(T)$ — среднее спектральное ускорение, связанное с вероятностью превышения P_e и периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T, полученное при выполнении ВАСО;

$\overline{S}_{a,P_f}(T)$ — среднее спектральное ускорение, связанное с целевой годовой вероятностью разрушения P_f и периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T, полученное при выполнении ВАСО;

$S_{a,site}(T)$ — спектральное ускорение на площадке установки сооружения за период повторяемости 1000 лет и с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T;

T — собственный период колебаний осциллятора с одной степенью свободы;

T_{dom} — доминирующий модальный период колебаний сооружения;

T_{return} — период повторяемости;

u_i — коэффициент использования при анализе во временной области i;

$\hat{u}$ — средний коэффициент использования;

v_s — скорость поперечной волны;

$\overline{v}_s$ — поперечной волны в верхнем 30-метровом слое грунта морского дна;

ρ — массовая плотность грунта;

η — процент критического затухания;

σ_{LR} — логарифмическое стандартное отклонение неопределенностей, не охваченных кривой сейсмической опасности;

σ'_{v0} — эффективное природное давление грунта.

5 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВАСО — вероятностный анализ сейсмической опасности;

ВСП — верхнее строение платформы;

КСР — категория сейсмического риска;

МНГС — морское нефтегазопромысловое сооружение;

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;

ПЗ — проектное землетрясение;

СТУ — специальные технические условия.

6 Сейсмические опасности

При проектировании МНГС в сейсмически опасных зонах должны учитываться сейсмические воздействия и нагрузочные эффекты. Регионы считаются сейсмически опасными на основании предыдущих данных о сейсмической активности как с точки зрения частоты подобных явления, так и с точки зрения их магнитуды.

Рассмотрение сейсмических явлений в сейсмически активных регионах должно включать исследования характеристик движения грунта и допустимые сейсмические риски для сооружений. Конструкция сооружений в сейсмически активных регионах должна учитывать движение грунта в результате землетрясений. Однако при проектировании необходимо учитывать и другие виды сейсмических опасностей, которые нуждаются в специальных исследованиях.

При проектировании сооружений в сейсмически опасных зонах должен разрабатываться раздел СТУ, содержащий, но не ограниченный следующими техническими нормами:

- оценка сейсмической опасности площадки установки сооружения, в том числе результаты ВАСО;

- расчет акселерограмм ожидаемых сейсмических воздействий и параметров колебаний реального грунта на площадке;

- технические требования к выполнению расчетов сооружений на сейсмические нагрузки, разрабатываемые при научном сопровождении специализированной организации.

Следующие виды опасностей могут быть вызваны сейсмическими явлениями:

- разжижение грунта;
- сползание морского дна;
- сдвиг горных пород;
- цунами;
- грязевые вулканы.

Дополнительно необходимо оценить воздействие сейсмических явлений на подводное оборудование и подводные трубопроводы.

Дополнительная информация и рекомендации к разделу представлены в А.1 (приложение А).

7 Принципы и методы проектирования с учетом сейсмических условий

7.1 Принципы проектирования

МНГС, расположенные в сейсмически опасных зонах, должны проектироваться с учетом различных уровней землетрясения по двум предельным состояниям — основному и особому (чрезвычайному) ***в соответствии с ГОСТ Р 54483 (раздел 6).***

Требования основного предельного состояния распространяются на проектирование сооружений, прочность и жесткость которых исключают какие-либо значительные структурные повреждения при смещении грунта в результате землетрясения определенного уровня и с достаточно низкой вероятностью его возникновения в течение проектного срока эксплуатации сооружения. При проектировании по основному предельному состоянию должны быть учтены сейсмические явления уровня ПЗ.

При сейсмическом воздействии уровня ПЗ не допускается появление повреждений, нарушающих нормальную эксплуатацию морских нефтегазопромысловых сооружений.

Требования особого (чрезвычайного) предельного состояния распространяются на проектирование сооружений, конструкция и фундамент которых должны обладать достаточным запасом прочности и устойчивости для обеспечения восприятия значительных неупругих деформаций без полной потери конструктивной целостности. При проектировании по особому (чрезвычайному) предельному состоянию должны быть учтены сейсмические явления уровня МРЗ.

При сейсмическом воздействии уровня МРЗ допускается появление повреждений, нарушающих нормальную эксплуатацию МНГС. При этом должна обеспечиваться общая целостность конструкции, исключающая разрушение сооружения, которое может повлечь за собой человеческие жертвы и серьезный экологический ущерб.

Период повторяемости ПЗ и МРЗ зависит от уровня воздействия и ожидаемого уровня сейсмической активности.

Дополнительная информация и рекомендации представлены в А.2 (приложение А).

7.2 Проектирование с учетом сейсмических условий

7.2.1 Общая часть

Для проектирования МНГС с учетом сейсмических условий используются два альтернативных метода — упрощенный и детальный.

Упрощенный метод проектирования применяется, когда влияние сейсмических воздействий на сооружения незначительно. Кроме того, данный метод может применяться на предпроектных стадиях проектирования обустройства морских месторождений. ***Описание упрощенного метода проектирования представлено в разделе 8.***

Детальный метод применяется, когда вопросы сейсмобезопасности являются критичными при проектировании сооружений. Детальный метод требует проведения оценки сейсмической опасности на площадке установки сооружения. ***Описание детального метода проектирования представлено в разделе 9.***

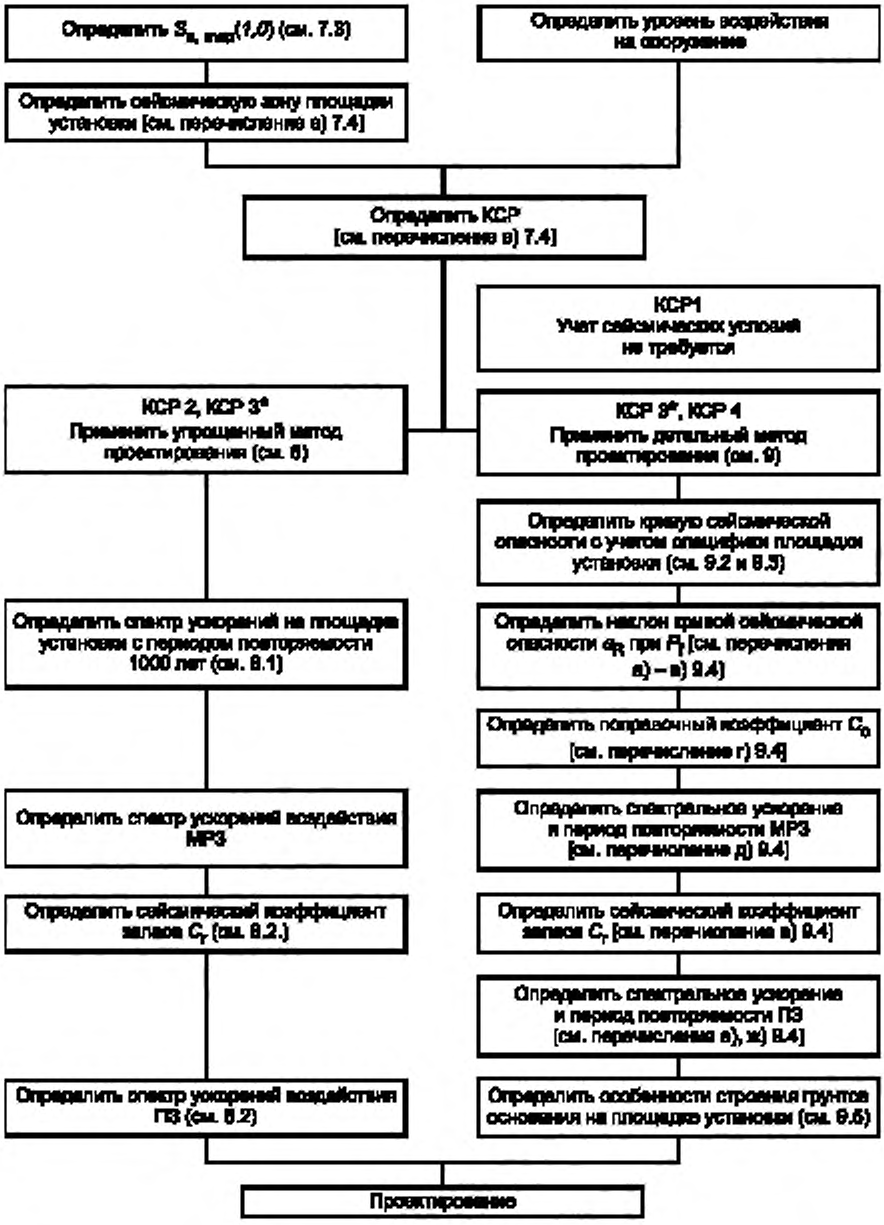
Выбор соответствующего метода зависит от уровня воздействия, а также от ожидаемой интенсивности и характеристик сейсмических событий.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема определения методов проектирования с учетом сейсмических условий и последовательности действий по каждому из них.

7.2.2 Проектирование с учетом проектного землетрясения

При сейсмическом воздействии уровня ПЗ допускается переход отдельных элементов конструкции и фундамента в локальное нелинейное состояние. Расчетные модели сооружения следует принимать соответствующими линейно-упругой области деформирования. При этом нелинейные взаимодействия, такие как «сооружение — грунт», следует рассматривать как линейные.

Если используется оборудование для сейсмической изоляции или рассеивания пассивной энергии, необходимо использовать методы нелинейного анализа во временной области.



* Сооружения КСР 3 могут проектироваться по упрощенному методу либо детальной методике (см. таблицу 4).

Рисунок 1 — Принципиальная схема определения методов проектирования с учетом сейсмических условий

Для сооружений, подверженных волновым колебаниям, возникающим в результате сейсмических явлений, необходимо применять один из двух методов определения сейсмических воздействий:

а) анализ спектра откликов ***(анализ в спектральной форме);***

б) анализ изменения во времени ***(анализ во временной форме).***

Оба метода предполагают, что волновые колебания совершаются в трех направлениях: двух ортогональных горизонтальных и одном вертикальном.

При проектировании на воздействие уровня ПЗ необходимо использовать обоснованные показатели затухания, соответствующие уровням деформации воздействий ПЗ. Более высокие параметры затухания, обусловленные гидродинамикой или деформациями грунта основания, должны подтверждаться дополнительными специальными исследованиями. Фундамент может быть смоделирован с эквивалентными упругими пружинами и при необходимости с элементами масс и демпфирующими элементами. Показатели жесткости и затухания фундамента должны соответствовать уровням деформации грунта основания при воздействии ПЗ.

В анализе спектра откликов ***(анализе в спектральной форме)*** методы комбинирования откликов в трех ортогональных направлениях должны учитывать корреляцию между формами колебаний. Когда отклики по каждой компоненте направления землетрясения рассчитываются отдельно, отклики на все три направления движения землетрясения могут вычисляться в виде корня из суммы квадратов этих компонент.

В анализе изменения во времени ***(анализе во временной форме)*** должны применяться группы записей сейсмических данных для определения случайного характера движения грунта основания, количество которых должно быть не менее количества наиболее опасных зон возникновения очагов землетрясения.

Эти записи должны быть отобраны таким образом, чтобы они отражали доминирующие сейсмические воздействия ПЗ. В каждом временном отрезке должна проводиться проверка кодов компонент, и для оценки обоснованности значений компонент необходимо применять максимальный коэффициент использования в каждом периоде регистрации.

Записи сейсмических данных получают из официальных источников Геофизической службы РАН.

Результат проектирования с учетом сейсмического воздействия уровня ПЗ считается удовлетворительным, если максимальное значение коэффициента использования не превышает 1,0 для не менее чем половины записей сейсмических данных. Если используется менее семи групп записей сейсмических данных, то должен применяться масштабный коэффициент 1,05.

Оборудование, применяемое на МНГС, должно выдерживать смещения, обусловленные движениями грунта основания и сооружения. Перемещения на уровне ВСП могут значительно превышать перемещения на уровне морского дна. Для определения спектров перемещений ВСП и спектров отклика перемещений ВСП рекомендуется применять методы анализа изменения во времени ***(анализа во временной форме)***.

Необходимо учитывать влияние перемещений, вызванных сейсмическими воздействиями уровня ПЗ на трубопроводы, направления скважин, морские райзеры и другое важное с точки зрения безопасности оборудование.

Дополнительная информация и рекомендации представлены в А.2.2.2 (приложение А).

7.2.3 Проектирование с учетом максимального расчетного землетрясения

В большинстве случаев экономически нецелесообразно проектировать сооружения таким образом, чтобы они были в состоянии воспринимать сейсмические воздействия уровня МРЗ без существенного нелинейного поведения элементов конструкций. ***При этом допускается возникновение пластических деформаций в элементах конструкций, развитие локальных хрупких разрушений в элементах конструкций, возникновение нагрузок на сваи основания, соответствующие несущей способности, значительные деформации в фундаменте МНГС***. Возможность сооружения выдерживать сейсмические воздействия уровня МРЗ при проектировании должна обеспечиваться соответствующим статическим запасом прочности и податливости конструкции, а также необходимым рассеиванием энергии.

Цель расчетов на сейсмические воздействия уровня МРЗ — предотвращение глобального разрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей.

Формирование расчетных моделей сооружений следует проводить с учетом возможности развития в несущих и ненесущих элементах конструкций неупругих деформаций и локальных хрупких разрушений.

При построении расчетных моделей элементы конструкций и грунтового основания должны моделировать таким образом, чтобы в полной мере учитывать все их свойства и характеристики.

Для конструкций, которые подвержены волновым колебаниям, возникающим в результате сейсмических явлений, применяется один из двух следующих методов анализа:

а) метод предельной статической прочности или метод предельных перемещений;

б) метод нелинейного анализа во временной области.

Эти два метода могут в большинстве случаев дополнять друг друга. Требования, содержащиеся в 7.2.2, для сочетания волновых колебаний трех компонент отклика и затухания колебаний также распространяются на проектирование с учетом МРЗ.

Метод предельной статической прочности может применяться для определения вероятного и контролируемого механизма глобального разрушения или глобального смещения сооружения. Это может быть достигнуто расчетом сооружения с контролем перемещений. Метод нелинейного анализа во временной области является наиболее точным методом анализа при проектировании с учетом МРЗ. Для определения случайного характера сейсмического явления необходимо применять результаты анализов во временной области, количество которых должно быть не менее количества наиболее опасных зон возникновения очагов землетрясения.

Временные записи сейсмических событий должны быть выбраны таким образом, чтобы они отражали доминирующие сейсмические воздействия МРЗ. Если используются семь или более групп сейсмических данных, то в половине или более данных групп должны быть учтены требования к долговечности сооружения. Если используется менее чем семь групп сейсмических данных, то требования к долговечности сооружения должны быть отражены по крайней мере в четырех.

Метод предельных перемещений может использоваться для оценки долговечности податливых систем или гибких связей, например тросов на платформах с натяжными связями и другим МНГС, подверженным поперечным воздействиям. При использовании данного метода система оценивается с точки зрения максимальных перемещений. Конструкция корпуса платформы с натяжными связями должна проектироваться как упругая для соответствующих воздействий.

Влияние существенных перемещений сооружения на трубопроводы, направления скважин, морские райзеры и другое важное с точки зрения безопасности оборудование должно рассматриваться дополнительно.

Дополнительная информация и рекомендации представлены в А.2.2.3 (приложение А).

7.2.4 Требования к выполнению сейсмического микрорайонирования

Определение уточненных характеристик сейсмического воздействия должно проводиться в рамках работ по сейсмическому микрорайонированию площадки установки сооружения, выполняемому в соответствии с положениями СП 11-114.

В составе работ по сейсмическому микрорайонированию площадки установки сооружения в том числе должно предусматриваться:

- ВАСО;
- определение данных спектрального ускорения площадки;
- разработка карт сейсмического микрорайонирования площадки, содержащих данные спектральных ускорений.

7.3 Данные спектрального ускорения

Данные спектрального ускорения для площадки установки сооружения должны быть определены по результатам сейсмического микрорайонирования (см. 7.2.4). На картах, разработанных при выполнении сейсмического микрорайонирования, ускорения должны быть выражены в долях от ускорения свободного падения g и соответствовать 5 %-ному затуханию спектральных ускорений скальной породы. Данные ускорения должны определяться в соответствии с категорией грунтовых условий А/В (согласно таблице 5 — Скальные породы/породы, включающие не более 5 м рыхлых отложений) площадки установки согласно 8.1.

Ускорения должны обозначаться как $S_{a,map}$ (*0,2*) или $S_{a,map}$ (*1,0*), их средний период повторяемости составляет 1000 лет.

7.4 Категория сейсмического риска

Сложность оценки сейсмического воздействия и связанные с ним методы проектирования зависят от категории сейсмического риска сооружения, определяемого ниже. Ускорения, определяемые в соответствии с 7.3, определяют зону сейсмичности площадки, которая впоследствии используется для выбора соответствующего метода проектирования сооружений с учетом сейсмических условий. Выбор метода проектирования зависит от уровня воздействия сооружения, а также от степени смещения грунта.

Определение КСР проводится в следующей последовательности:

а) определение зоны сейсмичности площадки в зависимости от $S_{a,map}(1,0)$ в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Зоны сейсмичности площадки

Спектральное ускорение $S_{a,map}(1,0)$	Зона сейсмичности
До 0,03 *g*	0
От 0,03 *g* до 0,10 *g*	1
От 0,11 *g* до 0,25 *g*	2
От 0,26 *g* до 0,45 *g*	3
Св. 0,45 *g*	4

б) определение уровня воздействия сооружения. В таблице 2 представлена целевая годовая вероятность разрушения P_f для каждого уровня воздействия, значения которой необходимы для определения сейсмических нагрузок в соответствии с детальным методом проектирования.

При применении детального метода проектирования значения целевых годовых вероятностей разрушения P_f, представленных в таблице 2, могут быть уточнены и приняты заказчиком, основываясь на заключениях специализированной научной организации.

При применении упрощенного метода проектирования значения целевых годовых вероятностей разрушения P_f принимаются по таблице 2 без изменений.

Таблица 2 — Целевая годовая вероятность разрушения P_f

Уровень воздействия	P_f
L 1	$4,0 \times 10^{-4} = 1/2500$
L 2	$1,0 \times 10^{-3} = 1/1000$
L 3	$2,5 \times 10^{-3} = 1/400$

в) определение КСР сооружения в зависимости от уровня воздействия и зоны сейсмичности площадки установки сооружения — в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 — Категория сейсмического риска КСР

Зона сейсмичности	Уровень воздействия		
	L 3	L 2	L 1
0	КСР 1	КСР 1	КСР 1
1	КСР 2	КСР 2	КСР 3
2	КСР 2	КСР 2	КСР 4
3	КСР 2	КСР 3	КСР 4
4	КСР 3	КСР 4	КСР 4

Если проектное горизонтальное сейсмическое воздействие меньше, чем 5 % общего вертикального воздействия, включающего постоянные нагрузки и переменные за вычетом плавучести, КСР 4 и КСР 3 могут быть переведены в КСР 2.

Дополнительная информация и рекомендации к подразделу представлены в А.2.3 (приложение А).

7.5 Требования к проектированию с учетом сейсмических условий

В таблице 4 представлены требования к проектированию с учетом сейсмических условий для каждой КСР. Данные требования также представлены в принципиальной схеме определения методов проектирования с учетом сейсмических условий (см. рисунок 1).

Таблица 4 — Требования к проектированию с учетом сейсмических условий

КСР	Метод проектирования	Оценка сейсмической активности	Нелинейный анализ воздействия уровня МРЗ
1	—	—	—
2	Упрощенный	Существующие карты сейсмического районирования ***или в соответствии с 7.3***	Допускается
3	Упрощенный	Данные сейсмического микрорайонирования площадки, существующие карты сейсмического районирования ***или в соответствии с 7.3***	Рекомендуется
	Детальный	Данные сейсмического микрорайонирования площадки	Рекомендуется
4	Детальный	Данные сейсмического микрорайонирования площадки	Требуется

В сейсмически опасных зонах необходимо предусматривать технические решения по обеспечению прочности и податливости конструкций сооружений, обеспечивающие восприятие деформаций, превышающих нормальные проектные значения.

При разработке архитектурно-конструктивных решений по сооружениям необходимо использовать требования и рекомендации, предъявляемые к проектированию податливых конструкций (за исключением КСР 1).

Для плавучих МНГС сооружений ход морского райзера, угол вращения тросов натяжных связей и прочие геометрические допуски должны соответствовать требованиям к воздействию уровня МРЗ.

Для сооружений, относящихся к категории сейсмического риска КСР 3, в большинстве случаев упрощенный метод более консервативен. Для оценки сейсмической активности предпочтителен ВАСО площадки установки (см. 9.2).

В других случаях могут быть использованы существующие карты сейсмического районирования ***либо в соответствии с 7.3***. Для детальной методики необходимо использовать результаты ВАСО площадки установки сооружения. Для упрощенной методики могут использоваться данные существующих карт сейсмического районирования совместно с результатами ВАСО площадки установки сооружения.

8 Упрощенный метод проектирования с учетом сейсмических условий

8.1 Классификация грунтов и форма спектра

С использованием спектральных ускорений для площадки установки сооружения $S_{a,map}(0,2)$ и $S_{a,map}(1,0)$, для периодов колебаний осциллятора, соответственно равных 0,2 и 1,0 с ***из разработанных карт сейсмического районирования (см. 7.3)***, определить спектр отклика площадки для периода повторяемости один раз в 1000 лет в следующей последовательности:

а) определить категорию грунтовых условий площадки установки. Категория грунтовых условий площадки зависит от характеристик грунта морского дна, на которое устанавливается сооружение, и является функцией осредненных характеристик верхнего слоя грунтового основания толщиной не менее 30 м (для сооружений МНГС свайно-гравитационного типа толщина верхнего слоя грунтового основания должна составлять не менее длины погружения сваи) и определяется в соответствии с таблицей 5.

Среднюю скорость поперечной волны в верхнем слое грунтового основания $\overline{v}_s$ вычисляют по формуле

$$\overline{v}_s = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{v_{s,i}}}, \quad (1)$$

где n — число слоев в верхнем слое грунтового основания;

d_i — мощность слоя i;

$v_{s,i}$ — скорость поперечной волны i-го слоя.

Среднее значение нормализованного сопротивления вдавливанию конуса $\overline{q}_{cI}$ и среднее сопротивление недренированного сдвига грунта $\overline{c}_u$ вычисляют по формуле (1), $\overline{v}_s$ заменяется на q_{cI} или c_u.

Таблица 5 — Определение категории грунтовых условий площадки установки

Категория грунтовых условий	Наименование грунта	Осредненная характеристика верхнего слоя грунтового основания		
		Скорость поперечной волны $\overline{v}_s$, м/с	Нормализованное сопротивление вдавливанию конуса зонда для песка $\overline{q}_{cI}$	Сопротивление недренированного сдвига грунта для глины $\overline{c}_u$, кПа
A/B	Скальные породы/породы, включающие не более 5 м рыхлых отложений	$\overline{v}_s \geq 750$	Не применимо к данному случаю	Не применимо к данному случаю
C	Очень плотный твердый грунт и слабая скальная порода	$350 < \overline{v}_s \leq 750$	$\overline{q}_{cI} \geq 200$	$\overline{c}_u \geq 200$
D	От плотного до весьма плотного грунта	$180 < \overline{v}_s \leq 350$	$80 \leq \overline{q}_{cI} < 200$	$80 \leq \overline{c}_u < 200$
E	От мягкого до плотного грунта	$120 < \overline{v}_s \leq 180$	$\overline{q}_{cI} < 80$	$\overline{c}_u < 80$
F	—	Грунты любого наименования, представленные в категориях от A до E и содержащие грунты, имеющие одну или более следующих характеристик: - $\overline{v}_s$ – ≤ 180; - грунты, чувствительные к потенциальному смещению или обрушению при сейсмической активности, такие как разжиженный грунт, высокоструктурные глины, слабо сцементированные грунты, подверженные обрушению; - илистый грунт или текучая глина, мощность которых превышает 10 м; - слои грунта с высоким содержанием газа или избыточным паровым давлением, которое больше, чем на 30 %, превышает эффективное давление породы в условиях залегания; - слои, имеющие мощность более 2 м, с резким перепадом значений скорости поперечной волны (более чем ±30 %) и/или сопротивления недренированного сдвига грунта (более чем ±50 %) по сравнению со смежными слоями.		

* $q_{cI} = (q_c/P_a) \times (P_a/\sigma'_{v0})^{0,5}$,
где q_c — сопротивление вдавливанию конуса зонда;
P_a — атмосферное давление = 100 кПа;
σ'_{v0} — эффективное природное давление грунта.

б) определить коэффициенты C_a и C_v. Для фундаментов мелкого заложения указанные коэффициенты определяются по таблицам 6 и 7. Значения коэффициентов зависят от категории грунтовых условий и от значений спектральных ускорений для площадки установки сооружения $S_{a,map}(0,2)$ и $S_{a,map}(1,0)$.

Значения C_a и C_v для свайных фундаментов представлены в таблице 8.

Таблица 6 — Значения C_a для фундаментов мелкого заложения и периода спектрального ускорения в 0,2 с.

Категория грунтовых условий	Спектральное ускорение $S_{a,map}(0,2)$				
	≤ 0,25 *g*	0,50 *g*	0,75 *g*	1,0 *g*	≥ 1,25 *g*
A/B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

Окончание таблицы 6

Категория грунтовых условий	Спектральное ускорение $S_{a,map}(0,2)$				
	≤ 0,25 *g*	0.50 *g*	0,75 *g*	1,0 *g*	≥ 1,25 g
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
F	*	*	*	*	*
* Определяется по результатам выполнения инженерно-геологических изысканий, включающих определение динамических характеристик грунта.					

Таблица 7 — Значения C_v для фундаментов мелкого заложения и периода спектрального ускорения в 1,0 с.

Категория грунтовых условий	Спектральное ускорение $S_{a,map}(1,0)$				
	≤ 0,1 *g*	0,2 *g*	0.3 *g*	0,4 *g*	≥ 0,5 *g*
A/B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
F	*	*	*	*	*
* Определяется по результатам выполнения инженерно-геологических изысканий, включающих определение динамических характеристик грунта.					

Таблица 8 — Значения C_a и C_v для свайных фундаментов

Категория грунтовых условий	C_a	C_v
A/B	1,0	0,8
C	1,0	1,0
D	1,0	1,2
E	1,0	1,8
F	*	*
* Определяется по результатам выполнения инженерно-геологических изысканий, включающих определение динамических характеристик грунта.		

в) определить спектр горизонтальных ускорений на площадке установки с периодом повторяемости 1000 лет. Спектр сейсмического ускорения должен быть определен для различных периодов колебаний осциллятора T, как показано на рисунке 2.

Для периодов T, меньших или равных 0,2 с, спектральное ускорение на площадке установки сооружения $S_{a,site}(T)$ вычисляют по формуле

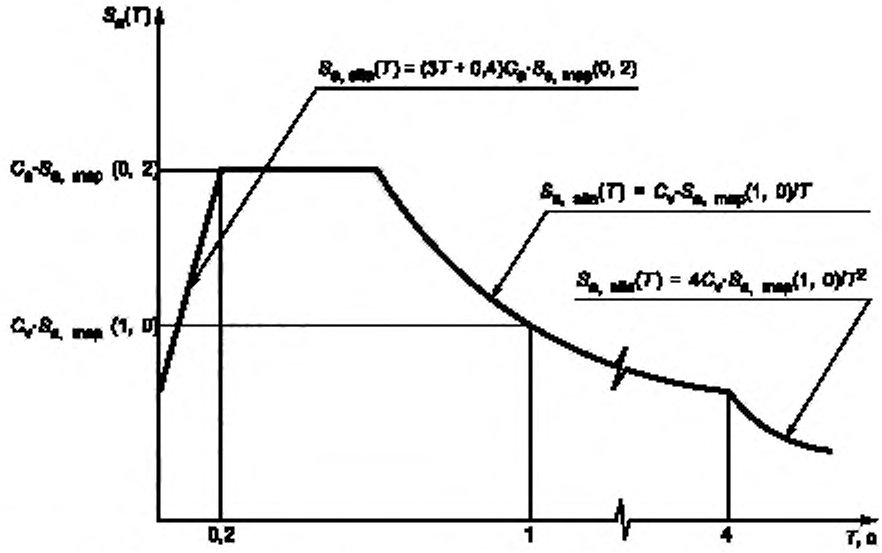
$$S_{a,site}(T) = (3T + 0,4)C_a \cdot S_{a,map}(0,2). \quad (2)$$

Для периодов, превышающих 0,2 с, спектральное ускорение вычисляют по формуле (3), за исключением случаев, когда $S_{a,site}(T) \le C_a \cdot S_{a,map}(0,2)$:

$$S_{a,site}(T) = \frac{C_V \cdot S_{a,map}(1,0)}{T}. \quad (3)$$

Для периодов, превышающих 4,0 с, спектральное ускорение может приниматься как затухающее, в пропорции $1/T^2$ вместо $1/T$, и должно определяться по формуле

$$S_{a,site}(T) = \frac{4C_V \cdot S_{a,map}(1,0)}{T^2}. \quad (4)$$



T — собственный период колебаний осциллятора с одной степенью свободы; C_a, C_v — коэффициенты площадки установки сооружения участка; $S_a(T)$ — спектральное ускорение, связанное с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T; $S_{a,site}(T)$ — спектральное ускорение на площадке установки сооружения за период повторяемости 1000 лет и с периодом колебаний осциллятора с одной степенью свободы T; $S_{a,map}(0,2)$ — спектральное ускорение на поверхности скальной породы при повторяемости сотрясений один раз в 1000 лет с периодом колебаний осциллятора 0,2 с с одной степенью свободы (определяется по ВАСО или с использованием базы данных OCP-97, а также по среднемировым и региональным зависимостям от магнитуды и эпицентрального расстояния до опасных зон возникновения очагов землетрясения); $S_{a,map}(1,0)$ — спектральное ускорение на поверхности скальной породы при повторяемости сотрясений один раз в 1000 лет с периодом колебаний осциллятора 1,0 с с одной степенью свободы (определяется по ВАСО или с использованием базы данных OCP-97, а также по среднемировым и региональным зависимостям от магнитуды и эпицентрального расстояния до опасных зон возникновения очагов землетрясения)

Рисунок 2 — Спектр сейсмического ускорения с 5 %-ным затуханием

г) вертикальное спектральное ускорение за период T должно приниматься как половина соответствующего горизонтального спектрального ускорения. Вертикальный спектр не должен в дальнейшем сокращаться под влиянием глубины воды;

д) спектры ускорения, определенные выше, соответствуют 5 %-ному затуханию. Для получения спектра ускорения, соответствующего другим значениям затухания, ординаты могут масштабироваться применением коэффициента затухания D по формуле

$$D = \frac{\ln\frac{100}{\eta}}{\ln 20}, \qquad (5)$$

где η — процент критического затухания.

Для получения проектного спектра отклика площадки для периода один раз в 1000 лет в качестве альтернативы последовательности, приведенной в перечислениях а)—д), единый спектр сейсмической опасности, полученный на основе ВАСО, может быть изменен с помощью анализа детального динамического отклика площадки установки сооружения.

Исходные данные для проектирования по упрощенному методу могут быть получены из карт, ранее разработанных или имеющихся у компании-оператора. В случае их отсутствия для реализации упрощенного метода необходимо предварительно выполнить разработку указанных карт силами специализированной организации.

8.2 Метод проектирования

Ниже представлено определение проектных спектров сейсмических ускорений.

Для каждого периода осциллятора T горизонтальные и вертикальные спектральные ускорения МРЗ должны определяться на основании соответствующих значений спектрального ускорения площадки установки сооружения для периода в 1000 лет [см. перечисления *в*) и *г*) 8.1] по формуле

$$S_{a,ALE}(T) = N_{ALE} \cdot S_{a,site}(T), \quad (6)$$

где N_{ALE} — масштабный коэффициент, зависящий от уровня воздействия сооружения, определяется по таблице 9.

Таблица 9 — Масштабный коэффициент N_{ALE}

Уровень воздействия	Масштабный коэффициент МРЗ N_{ALE}
L 3	0,85
L 2	1,15
L 1	1,60

Горизонтальные и вертикальные спектральные ускорения для осциллятора с периодом T вычисляют по формуле

$$S_{a,ELE}(T) = \frac{S_{a,ALE}(T)}{C_r}, \quad (7)$$

где C_r — сейсмический коэффициент запаса, который рассматривает статический запас прочности и возможность испытывать большие нелинейные деформации для каждого типа сооружений (например, стальные сооружения в сравнении с сооружениями из армированного бетона).

Коэффициент C_r представляет собой отношение спектрального ускорения, вызывающего катастрофическое разрушение конструкции, к спектральному ускорению ПЗ. Оценку значения C_r необходимо выполнять до проектирования сооружения для разработки экономичной конструкции, способной выдерживать воздействия уровня ПЗ, и одновременно соответствовать требованиям, учитывающим воздействия уровня МРЗ. Значения C_r могут быть приняты на основе детальной оценки аналогичных сооружений.

Во избежание слишком коротких периодов повторяемости ПЗ значения C_r не должны превышать:

- 2,8 — для сооружений с уровнем воздействия L 1;
- 2,4 — для сооружений с уровнем воздействия L 2;
- 2,0 — для сооружений с уровнем воздействия L 3.

Дополнительная информация и рекомендации к подразделу представлены в А.3 (приложение А).

9 Детальный метод проектирования с учетом сейсмических условий

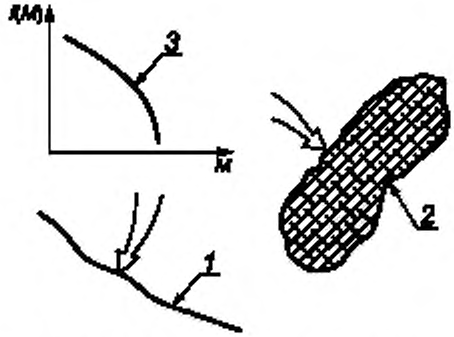
9.1 Оценка сейсмической опасности площадки

Проектный спектр ускорения — это наиболее широко применяемый входной параметр для проектирования с учетом сейсмических воздействий и расчета сооружений. При изучении сейсмичности площадки установки сооружения проектный спектр ускорения, как правило, определяется на основе спектра ускорения, рассчитываемого при выполнении ВАСО с учетом грунтовых условий площадки. Для дополнения результатов ВАСО может выполняться детерминистский анализ сейсмической опасности. Описание указанных анализов оценки сейсмической опасности представлено в 9.2—9.5.

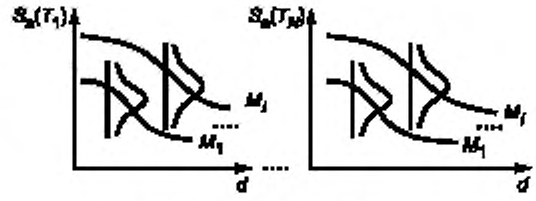
Для случая, когда ожидаемые воздействия при детерминистском и вероятностном анализе существенно различаются, следует делать расчеты в двух вариантах и выбирать наихудший.

9.2 Вероятностный анализ сейсмической опасности

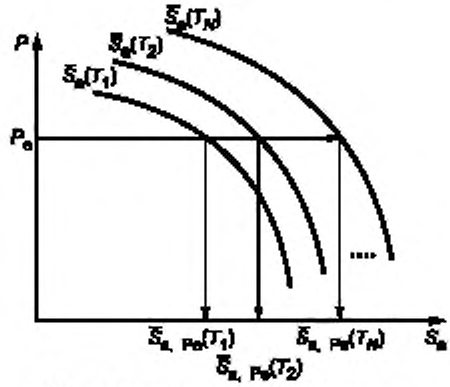
Графики определения ВАСО представлены на рисунке 3. При вероятностном анализе движения грунтов на площадке оцениваются на основе рассмотрения вероятности землетрясений различного масштаба от потенциальных очагов, которые могут вызывать сейсмические явления на площадке установки сооружения [см. рисунок 3, *а*)]. ВАСО также учитывает произвольный характер затухания сейсмических волн, проходящих от очага землетрясения до площадки установки сооружения [см. рисунок 3, *б*)]. Суммирование по индивидуальным вероятностям из различных источников дает годовую вероятность превышения для заданного пикового значения ускорения грунта или спектрального ускорения [см. рисунок 3, *в*)]. График зависимости вероятности превышения от параметров движения грунта или отклика осциллятора одной степени свободы (спектральное ускорение, спектральная скорость или спектральное перемещение) называют кривой сейсмической опасности.



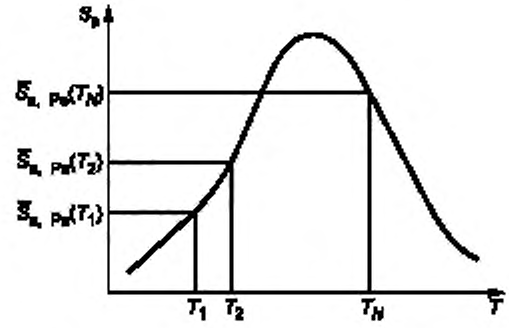
а) Определение сейсмичности и границ очага землетрясения



б) Определение кривых затухания для спектральных ускорений с периодами $T_1 ... T_N$



в) На основании рисунков а) и б) создать кривые сейсмической опасности для спектральных ускорений каждого из периодов выбранной целевой годовой вероятности превышения и получить средние значения единой сейсмической опасности для спектральных ускорений $\overline{S}_a(T_1) ... \overline{S}_a(T_N)$



г) На основании рисунка в) построить кривую единого спектра опасности из значений средних спектральных ускорений для выбранной целевой годовой вероятности превышения

1 — линейный очаг (разлом); *f*(*M*) — частота; *2* — зональный очаг. T_1 — периоды колебаний осциллятора с одной степенью свободы, *3* — годовая частота магнитуды *M*, $S_a(T_1)$ — спектральное ускорение, связанное с периодом колебаний T_1 осциллятора с одной степенью свободы; *4* — неопределенность затухания; *d* — расстояние до очага землетрясения; *M* — магнитуда; *P* — годовая вероятность превышения, P_e — целевая годовая вероятность превышения; $\overline{S}_{a,\ P_e}(T_1)$ — среднее спектральное ускорение для периода осциллятора T_1 при выбранном уровне годовой вероятности превышения

Рисунок 3 — Графики определения ВАСО

Спектральный отклик изменяется в зависимости от периода собственных колебаний осциллятора; таким образом, график представляет собой совокупность кривых сейсмической опасности для различных периодов *T* [см. рисунок 3, *в*)].

Результаты ВАСО используются для получения единого спектра сейсмической опасности [см. рисунок 3, *г*)], на котором все точки соответствуют той же годовой вероятности превышения. Соотношение между периодом повторяемости единой сейсмической опасности и вероятностью превышения (P_e) вычисляют по формуле

$$T_{return} = \frac{1}{P_e}, \tag{8}$$

где T_{return} — период повторяемости в годах.

Несмотря на то что ВАСО является вероятностным подходом, важно, чтобы существующие неопределенности были учтены при определении входных параметров, таких как максимальная магнитуда очага, взаимосвязанная повторная магнитуда, уравнение затухания, географические границы, определяющие расположение зоны возникновения землетрясения.

Результатами ВАСО является серия кривых сейсмической опасности для каждого значения спектрального ускорения, соответствующего собственному периоду колебаний сооружений, например T_1, T_2,..., T_N [см. рисунок 3, *в*)]. Вследствие неопределенностей входных параметров ВАСО каждая из кривых сейсмической опасности имеет диапазон неопределенности. Среднее (или ожидаемое) значение каждой кривой должно использоваться для построения единого спектра опасности, соответствующего заданной вероятности превышения P_e [см. рисунок 3, позиция *г*)]. Все ссылки на кривые сейсмической опасности подпункта 9.4 относятся к среднему значению кривой сейсмической опасности.

Дополнительная информация и рекомендации к подразделу представлены в А.4.1 (приложение А).

9.3 Детерминистский анализ сейсмической опасности

Детерминистские оценки крайних значений движений грунта на площадке установки сооружения получаются на основе рассмотрения единичного события определенной магнитуды и расстояния до площадки. Для проведения детерминистского анализа требуется следующая информация:

- определение очага землетрясения (например, известный разлом) и его расположение относительно площадки;
- определение магнитуды проектного землетрясения, которую может вызвать очаг;
- отношение, которое описывает затухание движения грунта в зависимости от расстояния.

Площадка установки сооружения может иметь несколько известных активных очагов землетрясений. Максимальная магнитуда определяется для каждого очага. Максимальная магнитуда — это функция длины разлома (очага) и исторические данные об имевших место землетрясениях конкретного очага.

Детерминистские оценки значений движений грунта не связаны с определенным периодом повторяемости, таким как один раз в 1000 лет, хотя конкретное сейсмическое событие может иметь период повторяемости, связанный с ним. Период повторяемости для максимального землетрясения, вызванного данным разломом, может варьироваться от нескольких сотен до нескольких тысяч лет, в зависимости от степени активности разлома.

Детерминистский анализ сейсмической опасности может выполняться в дополнение к вероятностному анализу сейсмической опасности.

9.4 Метод проектирования

Детальный метод проектирования с учетом сейсмических условий основан на результатах ВАСО (см. 9.2 и рисунок 3).

Кривая сейсмической опасности площадки установки сооружения должна быть определена в отношении годовой вероятности превышения спектрального ускорения, соответствующего периоду, равному доминирующему модальному периоду колебаний сооружения $\overline{S}_a(T_{dom})$ [см. рисунок 3, *в*)]. Вместо более специфичной информации о доминирующем модальном периоде колебаний сооружения может быть определена кривая сейсмической опасности для спектрального ускорения $\overline{S}_a(1{,}0)$ в период 1,0 с.

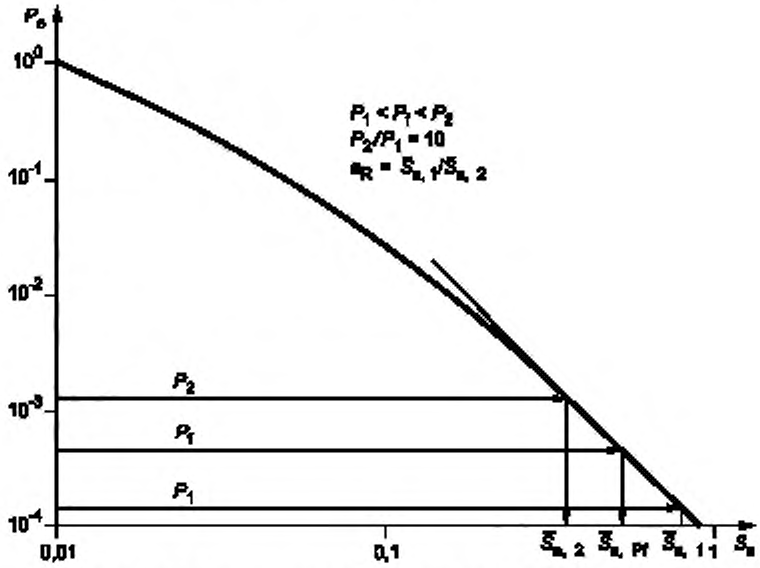
Спектральные ускорения уровня МРЗ должны быть определены по кривой сейсмической опасности площадки установки сооружения и целевой годовой вероятности разрушений P_f, указанных в таблице 2. Конкретные шаги для определения сейсмических воздействий уровней МРЗ и ПЗ представлены на рисунке 4 и описаны ниже:

а) построить кривую сейсмической опасности площадки установки сооружения для $T = T_{dom}$ [подобную кривым, приведенным на рисунке 3, *в*)] на основе $\log_{10} - \log_{10}$, т. е. с отображением распределения вероятности параметра $\overline{S}_a(T_{dom})$ [см. рисунок 4, *а*)];

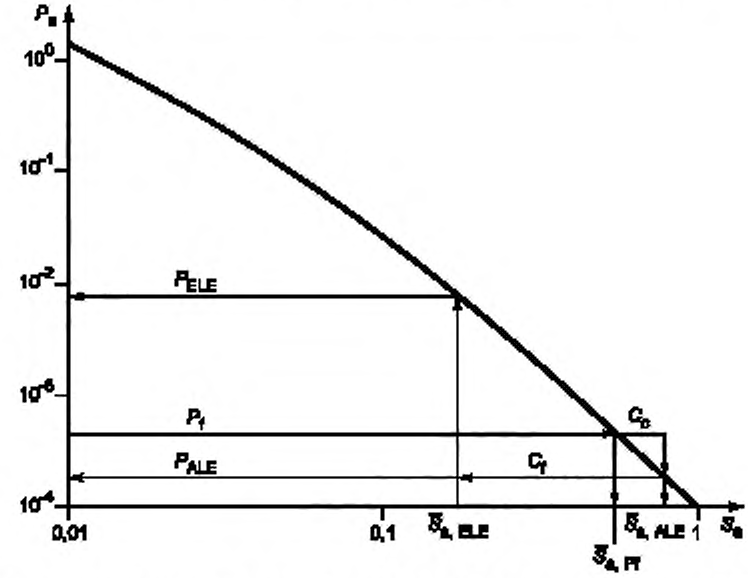
б) выбрать целевую годовую вероятность разрушения P_f, как функцию уровня воздействия по таблице 2, и определить спектральное ускорение площадки установки сооружения при выбранных значениях P_f, $\overline{S}_{a,P_f}(T_{dom})$ в соответствии с позицией а) рисунка 4;

в) определить наклон кривой сейсмической опасности a_R посредством проведения касательной к кривой сейсмической опасности в точке, соответствующей значению P_f. Наклон a_R определен как соотношение спектральных ускорений [см. рисунок 4, *а*)], соответствующих двум значениям вероятности,

по одному на каждой стороне P_f, различающимся на один порядок значения магнитуды [P_1 и P_2 на рисунке 4, *а*)]. Предпочтительно, чтобы P_1 было близко к P_f;



а) Определение наклона a_R кривой сейсмической опасности для $T = T_{dom}$



б) Определение спектральных ускорений и вероятностей для воздействий уровней МРЗ и ПЗ

P_a — годовая вероятность превышения; S_a — спектральное ускорение *g*

Рисунок 4 — Типовая кривая сейсмической опасности

г) определить поправочный коэффициент C_c, соответствующий a_R таблицы 10. Данный поправочный коэффициент учитывает неопределенности, не отраженные на кривой сейсмической опасности (например, неопределенность способности сооружения противостоять сейсмическим воздействиям);

Таблица 10 — Поправочный коэффициент C_c

Наклон кривой сейсмической опасности a_R	Поправочный коэффициент C_c	Наклон кривой сейсмической опасности a_R	Поправочный коэффициент C_c
1,75	1,20	2,50	1,12
2,00	1,15	3,00	1,10

д) определить среднее спектральное ускорение уровня МРЗ с учетом поправочного коэффициента C_c к $\overline{S}_{a,P_f}(T_{dom})$, спектральное ускорение площадки при требуемой P_f и доминирующем модальном периоде колебаний сооружения T_{dom} по формуле

$$\overline{S}_{a,ALE}(T_{dom}) = C_c \cdot \overline{S}_{a,P_f}(T_{dom}). \quad (9)$$

Годовая вероятность превышения для сейсмического воздействия уровня МРЗ P_{ALE} может быть считана с кривой сейсмической опасности [см. рисунок 4, б)]. Период повторяемости сейсмического воздействия уровня МРЗ должен определяться в зависимости от годовой вероятности превышения по формуле (8). P_{ALE} меньше, чем P_f для компенсации неопределенностей в оценках величин воздействия и устойчивости, не представленных на кривой сейсмической опасности (учтено в поправочном коэффициенте C_c);

е) для определенных типов сооружений с известными параметрами запаса прочности и податливости спектральное ускорение ПЗ вычисляют по формуле

$$\overline{S}_{a,ELE}(T_{dom}) = \frac{\overline{S}_{a,ALE}(T_{dom})}{C_r}, \quad (10)$$

где C_r — сейсмический коэффициент запаса сооружения, который учитывает статический запас прочности и способность противостоять значительным нелинейным деформациям для каждого типа сооружения (например, стальные сооружения в сравнении с сооружениями из армированного бетона).

Коэффициент C_r представляет собой отношение спектрального ускорения, вызывающего катастрофическое разрушение конструкции, к спектральному ускорению ПЗ. Оценку значения C_r необходимо выполнять до проектирования сооружения для разработки экономичной конструкции, способной выдерживать воздействия уровня ПЗ, и одновременно соответствовать требованиям, учитывающим воздействия уровня МРЗ. Значения C_r могут быть приняты на основе детальной оценки аналогичных сооружений;

ж) годовая вероятность превышения сейсмического воздействия уровня ПЗ P_{ELE} может быть считана с кривой сейсмической опасности [см. рисунок 4, б)]. Период повторяемости ПЗ определяется по годовой вероятности превышения в соответствии с формулой (8). Установив периоды повторяемости МРЗ и ПЗ, необходимо определить спектральные ускорения МРЗ и ПЗ для других собственных периодов колебания по результатам ВАСО, т. е. $\overline{S}_{a,ALE}(T)$ и $\overline{S}_{a,ELE}(T)$;

и) модификации спектров ускорений МРЗ и ПЗ для локальных геологических и грунтовых условий должны быть рассмотрены с помощью анализа отклика площадки установки сооружения (см. 9.5).

Для плавучих сооружений (таких, как платформы на натяжных связях) и других типов сооружений, для которых C_r не определен или неизвестен, рекомендуется процесс проектирования, который направлен на предотвращение катастрофического разрушения при воздействии землетрясения уровня МРЗ.

Предельные деформации и ударные волны представляют основной интерес при проектировании морских одноточечных причалов. Конструкция корпуса плавучих сооружений должна проектироваться как упругая для восприятия соответствующих воздействий.

Минимальные периоды повторяемости землетрясений уровня ПЗ в зависимости от уровня воздействия приведены в таблице 11 для обеспечения экономической целесообразности проекта как функция от уровня воздействия. Если период повторяемости ПЗ, полученный при проектировании в соответствии с методом, описанным в настоящем разделе, ниже соответствующего периода повторяемости, указанного в таблице 11, то для $S_{a\cdot ELE}(T)$ применяется период повторяемости, указанный в таблице 11.

Таблица 11 — Минимальные периоды повторяемости ПЗ

Уровень воздействия	Минимальный период повторяемости ПЗ
L 3	50
L 2	100
L 1	200

Дополнительная информация и рекомендации представлены в А.4.2 (приложение А).

9.5 Анализ отклика площадки

В детальном методе проектирования с учетом сейсмических условий (см. 9.4) проектные спектральные ускорения МРЗ ($S_{a,ALE}(T)$) и ПЗ ($S_{a,ELE}$ (T)) основаны на кривых единого спектра опасности, на которых все точки имеют одинаковый период повторяемости. Периоды повторяемости уровней МРЗ и ПЗ определяются в соответствии с методом, описанным в 9.4. Вероятностный и детерминистский анализы сейсмической опасности, описанные в 9.2 и 9.3, позволяют получить параметры движения грунта, применимые к умеренно плотным, плотным и грунтам коренной породы. Однако многие площадки состоят из поверхностного слоя слабых грунтов, покрывающих более прочные грунты.

Спектральные ускорения уровней МРЗ и ПЗ при наличии слоев малопрочных и слабых грунтов должны быть рассчитаны на площадке с учетом местных условий по программам эквивалентного линейного анализа или нелинейного анализа*.

В качестве альтернативы анализу динамического отклика площадки для корректировки спектров ускорений может использоваться упрощенная методика, описанная в подразделе 8.1. В соответствии с 8.1 получаем спектр усиления из отношения спектра ускорения, соответствующего категории грунтовых условий площадки установки, к соответствующему классу площадки, сложенной твердым грунтом или скальной породой. Спектр усиления может применяться для корректировки спектров ускорения, полученных при выполнении вероятностного анализа сейсмической опасности, соответствующего площадке, сложенной твердым грунтом или скальной породой.

Дополнительная информация и рекомендации представлены в А.4.3 (приложение А).

10 Конструктивные решения

10.1 Требования к конструктивным решениям с учетом воздействий проектного землетрясения

Цель проектирования с учетом воздействия уровня ПЗ — недопущение появления повреждений, нарушающих нормальную эксплуатацию МНГС и обеспечение достаточного коэффициента надежности против значительных повреждений от существенно больших воздействий.

Необходимо проверять следующие требования:

- все первичные конструкции и элементы фундамента не должны испытывать повреждений от воздействия ПЗ. Не допускается нелинейное поведение материала конструкции (например, пластичная деформация стали или появление трещин в бетоне при растяжении);
- к проектированию вторичных элементов конструкции предъявляются те же требования, что и к первичным;
- внутренние усилия в соединениях не должны превышать показателей прочности узлов от действия расчетных сил и моментов;

---

* Например: Nera (Krylov A.A., Kovachev S.A., Ivashchenko A.I.: «Comparison of two methods for estimation of influence of local site conditions on the seismic intensity: intensity increase, and Nonlinear response analyses (NERA)», Book of abstracts, European Seismological Commission 33rd General Assembly, 19—24 August 2012, Obninsk — M., РН "Poligrafiqwik", 2012, pp. 376—377), ProShake (ProShake Ground Response Analysis Program Version 1.1 User's Manual EduPro Civil Systems, Inc. Redmond, Washington, режим доступа: gost.e-ecolog.ru), Shake-2000 (SHAKE2000 A Computer Program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems. User's Manual Gustavo A. Ordóñez, режим доступа: gost.e-ecolog.ru , WinShake (модификация SHAKE91, Idriss I.M., Sun J.I. SHAKE91 — A computer program for conducting equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soils. CGM research report. UC Davis, 1992), SMSIM (Boore D.M. SMSIM — Fortran Programs for Simulating Ground Motions from Earthquakes: .0 — A Revision of OFR 96-80-A, U.S. Geological Survey Open-File Rep., 00-509, 2000 (http://gost.e-ecolog.ru).

- проверки фундамента должны проводиться или на уровне элементов фундамента, или на уровне сооружения в целом. На уровне элементов должен обеспечиваться необходимый запас, учитывающий осевые и боковые разрушения свай или вертикальные и сдвиговые горизонтальные повреждения других элементов фундамента. На уровне сооружения в целом должен обеспечиваться необходимый запас, учитывающий механизмы больших деформаций, которые могут приводить к повреждениям конструкций или ухудшению прочностных свойств, потребовать ремонта сооружения или его вспомогательных систем, таких как технологические трубопроводы или морские райзеры;

- системы безопасности и эвакуации персонала должны оставаться полностью работоспособными при воздействиях уровня ПЗ;

- мачты, палубы и факельные стрелы должны быть в состоянии выдерживать сейсмические движения, передающиеся на сооружения с минимальным повреждением или без повреждений. Проектная документация должна содержать ограничения, предотвращающие опрокидывание оборудования ВСП. Трубопроводная обвязка должна быть спроектирована с учетом неравномерного перемещения неподвижных опор. Должны предусматриваться скользящие опоры, обеспечивающие необходимую подвижность в течение всего срока эксплуатации сооружения. Проектные решения должны предусматривать минимизацию риска падения оборудования во время воздействия ПЗ.

10.2 Требования к конструктивным решениям с учетом воздействий максимального расчетного землетрясения

Цель проектирования с учетом воздействия уровня МРЗ — обеспечение общей целостности конструкции, исключающей разрушение сооружения, которое может повлечь за собой человеческие жертвы и серьезный экологический ущерб.

Необходимо проверять следующие требования:

- допускается пластическое деформирование с ухудшением характеристик материала элементов конструкций (локальный продольный изгиб в стальных конструкциях или отслаивание бетона в железобетонных конструкциях), но при этом не допускаются катастрофические разрушения (общее разрушение сооружения или обрушение консольной секции палубы);

- в конструкциях фундамента допускаются пластические деформации, но не допускается потеря общей устойчивости или разрушение элементов фундамента;

- в узловых элементах допускаются ограниченные пластические деформации, при этом напряжения не должны превышать предельной прочности. Те узлы, где ожидаются значительные деформации соединений, должны быть спроектированы таким образом, чтобы сохранять упругость и остаточную прочность в пределах ожидаемых уровней деформации;

- системы безопасности и эвакуации персонала должны оставаться полностью работоспособными при воздействиях уровня МРЗ.

- разрушение оборудования верхних строений сооружений не должно нарушать работу систем, критически важных для обеспечения безопасности. Следует избегать обрушения жилых помещений, мачт, вышек, факельных стрел и другого важного оборудования ВСП.

10.3 Требования к мониторингу сооружений

При разработке проектной документации для МНГС обязательно включение в состав проектной документации раздела по организации непрерывного автоматизированного мониторинга поведения сооружения и его грунтового основания при землетрясениях.

При этом должны быть предусмотрены следующие системы мониторинга:

- система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений сооружения;
- система геодинамического мониторинга.

10.3.1 Система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений сооружений

Система мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений должна предусматривать:

- контроль горизонтальных и вертикальных перемещений сооружений;
- определение величины перемещений за определенный период;
- определение интенсивности движений (скоростей и ускорений);
- определение абсолютного смещения сооружения со времени начала мониторинга.

Объектами непрерывного мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений являются МНГС.

Задача мониторинга горизонтальных и вертикальных перемещений — определение влияния воздействия длительной эксплуатации месторождения на вертикальные и горизонтальные перемещения сооружений.

10.3.2 Система геодинамического мониторинга

Система геодинамического мониторинга должна предусматривать:

- мониторинг геолого-геофизической среды;
- мониторинг деформаций и наклонов.

Объекты непрерывного мониторинга геолого-геофизической среды — это литосферные поля: сейсмическое, геоакустическое и поле упругих деформаций и напряжений.

Задачи мониторинга геолого-геофизической среды:

- обнаружение концентрации очагов микроземлетрясений, предваряющих возникновение сильных землетрясений и крупных подвижек по разломам;
- обнаружение геофизических аномалий в среде;
- контроль микросейсмичности, связанной с трещинообразованием при внедрении жидкости в пористую среду.

Объекты непрерывного мониторинга деформаций и наклонов — пространственное положение и геометрия корпуса сооружения.

Задачи мониторинга деформаций и наклонов:

- определение абсолютных и относительных величин деформаций и сравнение их с расчетными;
- определение степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации сооружения.

Приложение А
(справочное)

Дополнительная информация и рекомендации

А.1 Сейсмические опасности

При выборе места расположения площадки установки сооружения необходимо учитывать геологически обусловленные опасности, вызванные возможными землетрясениями.

Разжижение грунта может иметь место вследствие периодических циклических движений насыщенных, рыхлых несвязных грунтов. Вероятность разжижения грунта уменьшается по мере увеличения плотности грунта. Сооружения с фундаментами как гравитационного, так и свайного типа, расположенные на разжижающихся грунтах данного типа, во время сильного землетрясения могут терять свою несущую способность вследствие снижения прочностных характеристик грунта.

Землетрясения могут вызывать разрушения склонов морского дна, которые при нормальном волновом режиме и собственном весе стабильны, что влечет за собой сползание морского дна. При исследовании участков в потенциально нестабильных зонах следует делать акцент на метастабильных геологических объектах, окружающих данный участок, и определении механических свойств грунтов, необходимых для моделирования и оценки движения морского дна. Аналитические прогнозы движения почвы как функции глубины ниже уровня морского дна могут использоваться вместе с механическими свойствами грунтов для определения предполагаемого воздействия на элементы конструкций. Лучший способ предупреждения подобных опасностей — это расположение морских сооружений за пределами таких зон.

Сейсмическая активность может привести к сдвигу горных пород. По возможности необходимо избегать расположения сооружений вблизи плоскостей разлома, проходящих по морскому дну. Если в силу обстоятельств требуется расположение сооружений в непосредственной близости от потенциально активных объектов, необходима оценка магнитуды и временной шкалы на основе геологического исследования, которая будет использоваться при проектировании сооружения.

Цунами вызываются мощными (и часто отдаленными) землетрясениями и подземным сдвигом пород, а также значительными сползаниями морского дна в результате землетрясений. При больших глубинах моря данные волны имеют большую длину и малую высоту и не представляют большую угрозу для плавучих и стационарных морских нефтегазопромысловых сооружений. При достижении мелководья волна создает толчки по направлению со дна к поверхности, увеличиваясь в объеме, а затем разбиваясь на мелководье, что способствует большему размыванию суши. Наиболее серьезную опасность для морских сооружений, расположенных на мелководье, представляют вызываемые цунами притоки и оттоки воды в виде волн и течений. Данные волны могут оказывать значительное воздействие на сооружения, а течения могут привести к сильному вымыванию грунта.

В местах ранее существовавших разломов могут быть грязевые вулканы. Данные геологические объекты не являются прямым следствием землетрясений, скорее они используют зону разлома для выноса газа, воды и грязи на поверхность морского дна, таким образом создавая вулканоподобные рельефы. Лучший способ предупреждения подобных опасностей — располагать морские сооружения вне указанных зон.

Ударные волны в толще воды, вызываемые землетрясениями и движением морского дна, могут оказывать влияние на плавучие сооружения. Ударные волны могут расходиться радиально вверх в толще воды, вызывая возможное импульсивное воздействие на плавучие или полупогружные плавучие сооружения и таким образом увеличивая давление на корпус и натяжные опоры и элементы якорных связей. Данное явление, скорее всего, возможно только как результат очень сильных землетрясений.

А.2 Принципы и методы проектирования с учетом сейсмических условий

А.2.1 Принципы проектирования

Требования двухуровневой проверки при проектировании с учетом сейсмических условий обусловлены высоким уровнем неопределенности в расчетах сейсмических воздействий, а также тем фактом, что проектирование с учетом сейсмического воздействия уровня МРЗ на основании только величины силовых воздействий, без учета способности сооружения рассеивать энергию и выдерживать существенные неупругие деформации, будет экономически неэффективно.

Сооружение, спроектированное с учетом ПЗ, имеет запас прочности против более значительных воздействий в силу потенциальных запасов прочности конструкции, учтенных в расчетных формулах, а также ввиду его способности выдерживать значительные нелинейные деформации. Для того чтобы избежать повторяющихся этапов проектирования и убедиться, что проверка на воздействие МРЗ имеет приемлемый результат, коэффициент отношения спектрального ускорения МРЗ к спектральному ускорению ПЗ устанавливается таким образом, чтобы была высокая вероятность соответствия как техническим требованиям, предъявляемым при проектировании на воздействие МРЗ, так и требованиям, предъявляемым при проектировании на воздействие ПЗ. Методы проектирования, описываемые в настоящем стандарте, устанавливают соотношения между критериями проектирования на воздействия МРЗ и ПЗ.

А.2.2 Проектирование с учетом сейсмических условий

А.2.2.2 Проектирование с учетом проектного землетрясения

Проектирование с учетом сейсмических воздействий осуществляется главным образом с учетом воздействия ПЗ. При этом размеры сечений конструктивных элементов определяются в соответствии с требованиями, установленными в соответствующих стандартах.

Методы проектирования с учетом воздействий ПЗ преследуют две цели:

- обеспечение способности сооружения противостоять сейсмическим воздействиям определенного уровня без разрушений или с минимальными повреждениями, не нарушающими нормальную эксплуатацию сооружения;

- проектирование с учетом воздействий уровня ПЗ должно выполняться таким образом, чтобы сооружение имело возможность воспринимать воздействия уровня МРЗ (см. 10.2) с минимальными конструктивными изменениями.

Первая цель направлена на обеспечение экономичности эксплуатации с той точки зрения, что она исключает необходимость проведения ремонтных работ после произошедшего землетрясения. Вторая цель направлена на обеспечение безопасности эксплуатации.

При проектировании с учетом сейсмических воздействий спектральные ускорения являются определяющим параметром. При этом метод проектирования с учетом воздействия ПЗ может быть уточнен на основании имеющихся записей спектров ускорений.

Записи землетрясения для анализа во временной области отбираются таким образом, чтобы они отражали опасности движения грунта при воздействии ПЗ на площадке. По результатам ВАСО (см. 9.2), основные сейсмические воздействия уровня ПЗ могут определяться, например, процедурой деаггрегации, которая определяет влияние зон различных разломов и сейсмических воздействий на возможность превышения заданных спектральных ускорений. Определенные при этом наиболее существенные факторы будут представлять основные сейсмические воздействия уровня ПЗ.

На основании сведений о магнитуде и расстоянии до очага землетрясения при ПЗ запись землетрясения для анализа во временной области можно выбрать из имеющейся базы данных. Каждая запись землетрясения состоит из трех групп записей землетрясения в трех плоскостях, которые представляют два ортогональных горизонтальных компонента и один вертикальный компонент движения. При отборе записей землетрясения тектонические условия (например, тип разлома) и условия участка (например, прочность грунтов основания) в имеющихся записях должны соотноситься с условиями площадки установки сооружения. Хотя записи будут соотноситься с целевой магнитудой и расстоянием, возможно, потребуется дальнейшее масштабирование записей для того, чтобы обеспечивалось соответствие уровню спектра откликов ПЗ. Одним из вариантов является простое масштабирование записей таким образом, чтобы средний спектр откликов от двух горизонтальных компонент соотносился с горизонтальным спектром отклика ПЗ при доминирующем модальном периоде колебаний сооружения.

А.2.2.3 Проектирование с учетом максимального расчетного землетрясения

Проектирование с учетом сейсмических воздействий осуществляется с целью предотвращения глобального разрушения сооружения или его частей, создающего угрозу безопасности людей и экологической опасности при сильном землетрясении высокой интенсивности. Цель безопасности определяется как верхняя граница годовой вероятности разрушения в результате сейсмического воздействия.

Для того чтобы проектирование с учетом воздействий уровня МРЗ соответствовало целям безопасности, метод проектирования и связанные с ним критерии учитывают неопределенность сейсмических воздействий и характер затухания сейсмических волн, нагрузочные эффекты и свойства конструкции сохранять прочность. Кроме того, учитываются систематические погрешности, связанные с сейсмотектоническим моделированием.

Выбор записи землетрясения для анализа во временной области при воздействии уровня МРЗ осуществляется в соответствии с методом проектирования на воздействие ПЗ, приведенным в приложении А.2.2.2.

А.2.3 Категория сейсмического риска

Для измерения воздействия на морские сооружения используется спектральное ускорение повторяемостью 1000 лет при периоде колебания 1,0 с. В таблице 1 представлены зоны сейсмичности площадки в зависимости от спектрального ускорения. В силу того, что спектральное ускорение является откликом осциллятора с одной степенью свободы, оно более релевантно для определения сейсмического воздействия, чем другие параметры, такие как пиковое ускорение грунта или пиковая скорость грунта. Период 1,0 с используется ввиду того, что во многих регионах спектральное ускорение повторяемостью 1000 лет при 1,0 с и значения пикового ускорения грунта за 1000 лет будут иметь сопоставимую магнитуду.

Период повторяемости МРЗ определяется косвенно, исходя из целевой вероятности разрушения и результатов ВАСО с учетом условий площадки установки сооружения. Период повторяемости ПЗ, в свою очередь, определяется на основании требований, предъявляемых к сооружению в части возможности выдерживать значительные деформации, вызванные МРЗ.

Проектирование с учетом сейсмических воздействий начинается с определения значений целевой годовой вероятности разрушения P_f. Данный подход отличается от расчета по коэффициентам нагрузок и сопротивления, где целевая годовая вероятность разрушения применяется на уровне элементов конструкций. Упрощенный и детализированный методы проектирования основаны на том, что проектирование на воздействие МРЗ должно соответствовать целевой годовой вероятности разрушения конструкции. Рекомендуемые целевые годовые вероятности разрушения перечислены в таблице 2 и отражают имеющийся опыт в проектировании морских сооружений для сейсмически активных регионов.

А.3 Упрощенный метод проектирования с учетом сейсмических условий

Детальный метод проектирования с учетом сейсмических условий включает определенное количество этапов и связанных с этим проверок, призванных гарантировать достижение цели. Упрощенный метод разработан на основе детального метода с помощью моделирования с использованием диапазона входных параметров и надлежащего осреднения результатов. Основные этапы разработки упрощенного метода приведены ниже.

В упрощенном методе проектирование основывается на сейсмических картах, отображающих спектральные ускорения с периодом повторяемости один раз в 1000 лет, вместо проведения ВАСО. При определении спектральных ускорений уровня МРЗ по этим картам следует учитывать, что:

- спектральное ускорение изменяется при изменении периода повторяемости от одного раза в 1000 лет до периода повторяемости $1/P_f$ для соответствия целевой вероятности разрушения;
- поправочный коэффициент C_c, применимый к спектральному ускорению уровня МРЗ, соответствует периоду повторяемости в $1/P_f$ (см. раздел 8).

При разработке упрощенного метода проектирования вышеизложенное было смоделировано на основе использования с помощью целевых вероятностей разрушения (см. таблицу 2) и широкого диапазона значений наклона кривой сейсмической опасности. На основании этих результатов были вычислены средние масштабные коэффициенты N_{ALE}, приведенные в таблице 9. Таким образом, масштабные коэффициенты, приведенные в таблице 9, соответствуют целевым вероятностям разрушения, приведенным в таблице 2.

При разработке упрощенного метода проектирования период повторяемости ПЗ был смоделирован для целевых вероятностей разрушения, приведенных в таблице 2, диапазона значений наклона кривой сейсмической опасности и диапазона значений C_r. Полученные периоды повторяемости ПЗ проверялись на соответствие того, что они выше, чем минимальные периоды повторяемости, указанные в таблице 11. На основании этих результатов установлены максимальные допустимые значения C_r следующие:

- 2,8 — для сооружений с уровнем воздействия L 1;
- 2,4 — для сооружений с уровнем воздействия L 2;
- 2,0 — для сооружений с уровнем воздействия L 3.

А.4 Детальный метод проектирования с учетом сейсмических условий

А.4.1 Вероятностный анализ сейсмической опасности

ВАСО, как правило, проводят с помощью специального программного обеспечения со следующими входными параметрами:

- определение очагов землетрясения, как разломов, так и распределенных очагов землетрясения, не приписываемых напрямую известному разлому. Для каждого очага землетрясения определяется максимальная магнитуда;
- для каждого очага землетрясения определяется годовая частота его возникновения в зависимости от магнитуды;
- определение затухания колебания грунта при землетрясении, включая распределение вероятности (обычно логарифмически нормальной), представляющей неопределенность спрогнозированного движения грунта на площадке установки сооружения. Соотношения для затухания разрабатываются на основании обработки имеющихся статистических данных движения грунта при землетрясениях, произошедших в сходных геологических и тектонических условиях.

При проведении ВАСО вероятности, связанные со значениями движения грунта, вычисляются путем объединения вероятностей движения грунта из многих очагов. Следовательно, вероятности движения грунтов не связаны с конкретным разломом или сейсмическим событием. Несмотря на то, что применение ожидаемого движения грунта, вызванного сильнейшим землетрясением, произошедшим неподалеку, на ближайшем разломе представляется консервативным, эти значения могут оказаться значительно меньше значений движения грунта, определенных с помощью вероятностного метода. Это отчасти справедливо, если самое крупное землетрясение на ближайшем разломе связано с более коротким периодом повторяемости, чем то, что рассматривается в вероятностном методе, или если площадка подвержена сейсмическим воздействиям со стороны нескольких разломов, каждый из которых оказывает влияние на общую вероятность превышения. Противоположный результат возможен, когда период повторяемости крупнейшего землетрясения на ближайшем разломе гораздо выше, чем ожидаемый период повторяемости движения грунта.

Процедура ВАСО может применяться для определения как горизонтального, так и вертикального компонентов движения грунта. Альтернативно значение вертикального компонента движения грунта может оцениваться на основе отношений, установленных для вертикального и горизонтального спектральных ускорений.

Отношение между средним периодом повторяемости (или величиной, обратной средней частоте повторения) и целевой годовой вероятностью превышения определяется по формуле (8) или (А.1):

$$T_{return} = \frac{-1}{\ln(1 - P_e)}. \quad (A.1)$$

При значениях вероятности разрушения, которые учитываются при проектировании с учетом сейсмических условий, разница между результатами, получаемыми по формулам (8) и (А.1), пренебрежимо мала.

А.4.2 Детальный метод проектирования

Учитывая, что целевая годовая вероятность разрушения равна P_f, годовая вероятность воздействия уровня МРЗ должна быть ниже P_f и соответствующий период повторяемости МРЗ должен быть больше $1/P_f$. Подобное увеличение периода повторяемости МРЗ необходимо для учета случайностей и неопределенностей сейсмических воздействий и характеристик сооружения; данные неопределенности не учтены на кривой сейсмической опасности и неизменно приводят к увеличению вероятности разрушения. Связанное с этим увеличение периода повторяемости МРЗ в основном зависит от двух факторов:

- относительной значимости данных дополнительных неопределенностей (выраженных логарифмическим стандартным отклонением σ_{LR});
- наклона кривой сейсмической опасности a_R при P_f.

В детальном методе проектирования поправочный коэффициент применяется к среднему спектральному ускорению для периода $T = T_{dom}$ с вероятностью превышения, равной P_f. В таблице А.1 представлены значения поправочного коэффициента C_c как функции σ_{LR} и наклона кривой сейсмической опасности a_R. Значение σ_{LR}, равное 0,3, считается типичным для неопределенностей, не учтенных кривой сейсмической опасности, например неопределенности способности деформироваться в нелинейных системах. Данные значения поправочного коэффициента C_c являются основой округленных значений, представленных в таблице 10. Необходимо отметить, что неопределенности могут варьироваться для стальных стационарных сооружений ферменного типа, гравитационных сооружений и других типов МНГС. В случаях, когда расчет сейсмического воздействия и устойчивости сооружения является более неопределенным, необходимо применять более высокие значения поправочного коэффициента C_c. Альтернативные корректирующие факторы (например, усиливающееся ускорение или требуемое смещение) могут быть получены и применены к элементам конструкции с наибольшими неопределенностями.

Таблица А.1 — Поправочный коэффициент C_c для спектрального ускорения МРЗ

Значение σ_{LR}	Поправочный коэффициент для a_R				
	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	1,08	1,07	1,05	1,04	1,04
0,3	1,20	1,16	1,12	1,10	1,09
0,4	1,35	1,28	1,20	1,18	1,16

Для расчета соответствующего спектрального ускорения МРЗ применяются поправочные коэффициенты спектрального ускорения, рекомендованные в таблице 10 или таблице А.1. Альтернативно возможно выполнить расчет поправочных коэффициентов, применимых наоборот, т. е. к годовой вероятности разрушения P_f вместо поправочных коэффициентов, применимых к спектральному ускорению. В таблице А.2 представлены рассчитанные поправочные коэффициенты P_f как функция наклона кривой сейсмической опасности для σ_{LR}, равной 0,3. Также в таблице А.2 приведены требуемые периоды повторяемости МРЗ для сооружений уровня воздействия L 1 исходя из того, что целевая годовая вероятность разрушения составляет 1/2500.

Таблица А.2 — Поправочный коэффициент для P_f

a_R	Поправочный коэффициент для P_f	Период повторяемости МРЗ* P_f = 1/2500	a_R	Поправочный коэффициент для P_f	Период повторяемости МРЗ* P_f = 1/2500
1,75	2,12	5300	3,0	1,22	3100
2,0	1,59	4000	3,5	1,19	3000
2,5	1,33	3300			
* Период повторяемости МРЗ для сооружения уровня воздействия L 1 с целевой годовой вероятностью разрушения $P_f = 4 \cdot 10^{-4}$.					

Как в упрощенной, так и в детальной методике проектирования на сейсмическое воздействие период повторяемости ПЗ определяется таким образом, чтобы сохранялся баланс между проектированием с учетом воздействий уровней ПЗ и МРЗ. При наличии подобного баланса сооружение, спроектированное с учетом воздействия уровня ПЗ, имеет большую вероятность соответствия проектным требованиям МРЗ. Данный критерий способствует сокращению затратных циклов проектирования и удовлетворяет цели безопасности МРЗ.

Для определения воздействия, подпадающего под требования ПЗ, уменьшается соответствующее спектральное ускорение МРЗ посредством коэффициента сейсмического запаса C_r, который представляет собой имеющийся запас надежности при воздействиях, превышающих уровень ПЗ.

Предусматриваются следующие запасы надежности:

- явно выраженные коэффициенты запаса надежности в расчетных уравнениях, применяемых в проектировании элементов конструкций сооружений;
- косвенный запас надежности в проектировании элементов конструкций сооружений, например разница между номинальной и расчетной прочностью материала;
- запас на общую прочность и устойчивость сооружения;
- способность сооружения воспринимать значительные нелинейные деформации.

Так как сейсмический коэффициент запаса C_r должен быть определен до проектирования на сейсмические воздействия, указанный выше запас надежности должен быть рассчитан по известным данным о применяемых материалах, проектных критериях и архитектурно-конструктивному типу сооружения. Запас надежности стационарных стальных сооружений между уровнями МРЗ и ПЗ может находиться в пределах от 1,1 до 2,8. Меньшие значения C_r соответствуют сооружениям с минимальным запасом надежности и незначительной податливостью, в то время как большие значения соответствуют сооружениям с высокими показателями запаса надежности и податливости.

При проектировании сейсмического воздействия по детальному методу допускается принимать любые значения C_r при условии, что расчет на воздействие МРЗ удовлетворяет имеющимся критериям.

Завышенное значение коэффициента сейсмического запаса C_r может привести к значительным изменениям в результате проверки на соответствие требованиям МРЗ, что увеличивает затраты на проектирование ввиду необходимости выполнения повторных расчетов с меньшим значением C_r.

С другой стороны, заниженное значение C_r может привести к принятию консервативных проектных решений (более дорогие решения), что позволит легко пройти проверку на соответствие требованиям МРЗ.

Требования к назначению минимальных периодов повторяемости ПЗ, приведенные в таблице 11, должны обеспечивать выполнение экономических целей проектирования с учетом воздействий уровня ПЗ и недопущения разрушения сооружения в ходе часто возникающих сейсмических явлений (см. А.2.2.2). Минимальные требования, представленные в таблице 11, также косвенно направлены на удовлетворение целей безопасности при проектировании с учетом воздействий уровня МРЗ. Данные требования могут выступать как регулирующие в тех областях кривой сейсмической опасности, где она имеет небольшой наклон (см. рисунок 4).

А.4.3 Анализ отклика площадки

Спектры ускорений площадки могут определяться путем числового моделирования по алгоритмам эквивалентного линейного или нелинейного анализа с использованием моделей грунтов основания. Анализ отклика площадки включает в себя оценку распространения поперечных волн через определенные слои грунтового основания, скорость поперечных волн или модуля сдвига, плотности грунта и динамических характеристик грунта. Для проведения анализа требуется решение уравнения движения с использованием динамических свойств грунтов.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 54483	NEQ	ISO 19900:2002 «Нефтяная и газовая промышленность. Общие требования к морским сооружениям»
ГОСТ Р 55311	—	*

* Соответствующий международный стандарт отсутствует.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- NEQ — неэквивалентный стандарт.

Библиография

[1] Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. РМРС — СПб, 2014, НД № 2-020201-013

[2] Правила классификации, постройки и оборудования морских плавучих нефтедобывающих комплексов. РМРС — СПб, 2011, НД-2-020201-011

[3] Правила по нефтегазовому оборудованию морских плавучих нефтегазодобывающих комплексов, плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. РМРС — СПб, 2009, НД-2-090601-001

УДК 622.242.4:006.354 ОКС 75.180.10

Ключевые слова: нефтяная и газовая промышленность, сооружения нефтегазопромысловые морские, проектирование, сейсмические условия

Редактор *Г.Н. Симонова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 09.11.2019 Подписано в печать 16.12.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 3,37.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru